

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Escuela de Posgrado



Mejora en reducción de costos de transporte de la Mina
Condestable, Mala, Cañete, 2020-2021 con uso del
volquete de doble tolva de 80 tn

Trabajo de investigación para obtener el grado académico de Magistra en
Regulación, Gestión y Economía Minera que presenta:

Mercedes Margot Flores Ipanaqué

Asesor:

Rafael Jesus Galvan Landavere

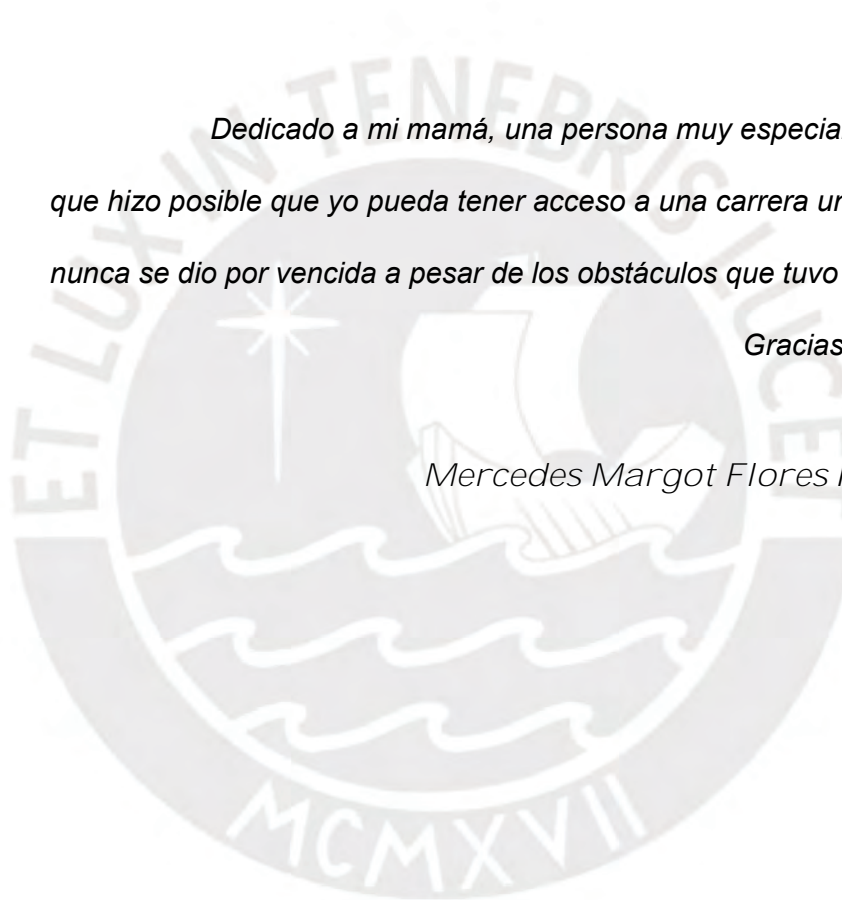
Lima, 2022

DEDICATORIA

*Dedicado a mi mamá, una persona muy especial en mi vida,
que hizo posible que yo pueda tener acceso a una carrera universitaria y
nunca se dio por vencida a pesar de los obstáculos que tuvo que pasar.*

Gracias a ti, mamá.

Mercedes Margot Flores Ipanaqué



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a Dios por todas las experiencias que me permiten mejorar como persona y profesional, así como a mis padres, quienes me enseñaron la importancia de la educación y sin su ayuda hubiera sido más complicado llegar a donde estoy.

En segundo lugar, agradecer a mis compañeros de trabajo, quienes me apoyaron en todo momento de la etapa de estudios de la maestría y en el desarrollo de esta tesis. Asimismo, agradezco a la Compañía Minera Condestable que me facilitó la información necesaria para poder realizar la tesis y a mi asesor, el Ing. Rafael Galván Landavere, quien me ayudó en todo momento y me dio ánimos para continuar con este proyecto de investigación.



RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar de qué manera el volquete de doble tolva de capacidad de 80 tn reducirá los costos de transporte en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021. Como enfoque metodológico, la investigación abordada es concebida como un paradigma de la investigación fenomenológica. La información recabada de estos reportes ha permitido la extensa comprensión de los significados sobre la vivencia cotidiana en la labor de la Mina Condestable, mientras que se complementa con otro enfoque paradigmático y es el cualitativo, el cual consiste en describir y reconstruir contextos reales para el caso de una mina, y los costos de su transporte, descubriendo las singularidades e interrelaciones de las unidades de análisis principales del volquete de doble tolva. Con respecto al enfoque cualitativo -en términos generales- busca caracterizar la información, analizar las palabras para producir datos necesarios como evidencia a través de la observación de los reportes. A su vez, esta metodología se asemeja a la cuantitativa, debido a su rigurosidad para el manejo e interpretación de los datos y para ir más allá, pues no solo es una aplicación de técnicas para obtener datos, sino una forma de encarar la realidad social investigada. Asimismo, la presente investigación es descriptiva, pues se describen las variables para posteriormente analizarlas. Para ello, la unidad de análisis será la empresa Mina Condestable, Mala, Cañete durante el periodo 2020-2021, particularmente sus reportes de productividad. Entre sus resultados -para el año 2020- se ha tenido una ligera disminución de los costos del cach cost C1, debido a las paralizaciones de actividades en el proceso a causa de la pandemia de la COVID-19 y al cierre del 2021 se tiene un promedio de 2 \$/lb. Concluyendo que, para el año 2020, el rendimiento del traslado de mineral fue de 36.98 y en el caso del desmonte fue de 32.31 tn/viaje. En conclusión, si se compara con los años anteriores, se puede observar un mayor rendimiento de transporte de mineral, representando un aumento de 0.11 t/viaje.

Palabras claves: reducción, costos, transporte, volquete, mina, productividad, rentabilidad.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine how the double hopper dump truck with a capacity of 80 tons will reduce transportation costs in the Condestable Mine of the Mala District, Cañete Province, during the 2020-2021 period. As a methodological approach, the research addressed is conceived as a paradigm of phenomenological research. The information collected from these reports has allowed the extensive understanding of the meanings of the daily experience in the work of the Constable mine, while it is complemented with another paradigmatic approach and is the qualitative one, which consists of describing and reconstructing real contexts, for the case, that of a Mine, and the costs of its transport, discovering the singularities and interrelationships of the main Scania Heavy Tipper XT V8 analysis units. Regarding the qualitative approach, in general terms, it seeks to characterize the information, analyze the words, to produce the necessary data as evidence, through the observation of the reports. In turn, this methodology is like the quantitative one, due to its rigorous handling and interpretation of the data and to go further, it is not only an application of techniques to obtain data, but a way of facing the investigated social reality. Likewise, this research is descriptive, since the variables are described for later analysis, the unit of analysis will be the company Mina Condestable, Mala, Cañete during the period 2020-2021, particularly its productivity reports. Among its results was obtained, For the year 2020 there has been a slight decrease each cost. C1, this is due to the stoppages of activities in the process due to the Covid-19 pandemic, at the end of 2021 there is a average of 2 \$ / lb. Concluding that, the performance of the transfer of ore was 36.98 and in the case of waste was 32.31 tn / trip, if compared with the previous years, a higher yield of ore transportation, representing an increase of 0.11 t / trip.

Keywords: reduction, costs, transportation, tipper, mine, productivity, profitability.

LISTA DE ACRÓNIMOS

Camiper: Cámara Minera del Perú.

CCT: Tecnología cíclica y continua.

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe

CMC: Compañía Minera Condestable.

COVID-19: Coronavirus de 2019.

KERS: Sistema de recuperación de energía.

IOCG: Iron Oxide Copper and Gold (Óxido de Hierro, Cobre y Oro).

ISO: Organización Internacional de Normalización.

KPI: Key Performance Indicator (Indicador de desempeño).

LOM: Life of mine (Vida útil de la mina).

MINEM: Ministerio de Energía y Minas.

MOGP: Modelo de programación de objetivo múltiple.

OPEX: Gasto Operacional.

OP: Ore Pass (Echadero de mineral o desmonte)

P.U.: Precio Unitario

PBI: Producto Bruto Interno.

TPD: Tonelada por día.

RTCM: Método de monitoreo de condición en tiempo real.

IPCC: In-pit crushing and conveying (Trituración y transporte en tajo).

ÍNDICE

Dedicatoria

Agradecimiento

Resumen

Abstract

Índice de Tablas

Índice de Figuras

Introducción..... 1

CAPÍTULO I.

ESTADO DEL ARTE..... 9

1.1 El transporte en minas..... 10

1.1.1 Importancia de la reducción de costos de transporte en minas 10

1.1.2 Implementaciones tecnológicas para el monitoreo del estado de la maquinaria operativa en minas subterráneas..... 17

1.1.3 La productividad del transporte en minas..... 20

1.1.4 Indicadores de productividad del transporte..... 21

1.1.5 Métodos y diseño..... 22

1.1.6 Reducción de costos de transporte..... 25

1.1.7 Maximizar la productividad de la mina con la reducción de los costos de transporte 31

1.2 Marco teórico 32

1.2.1 Optimización del flujo de transporte de carga en la industria minera 32

1.2.2 Flujos de transporte en minería (con uso de camiones) 33

1.2.3 Camiones de doble tolva..... 34

1.2.4 Gestión de tiempos 35

1.2.5 Indicadores clave de desempeño (KPI)..... 38

CAPÍTULO II.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 40

2.1 Características generales de la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021 40

2.2 Características generales del proyecto ejecutado en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021 con el volquete de doble tolva para la reducción de costos..... 60

2.3 Características técnicas del Volquete Carreta de 80 Ton (Scania) 80

2.4 Flujo de Transporte 89

Resultados:..... 92

2.5 Indicadores con el uso del volquete de doble tolva (velocidad, distancia, tn/viaje, cantidad de viajes) 95

| | | |
|----------------------|------|-----|
| CAPÍTULO | III. | |
| DISCUSIÓN..... | | 104 |
| CONCLUSIONES..... | | 108 |
| RECOMENDACIONES..... | | 109 |
| REFERENCIAS..... | | 110 |
| ANEXOS | | 119 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Recursos Minerales CMC | 43 |
| Tabla 2. Número de tajos (2018-2022)..... | 48 |
| Tabla 3. Número de tajos (2018-2022) Distribución de las reservas CMC según ubicación por niveles | 49 |
| Tabla 4. LOM 2021-2022, según reservas | 50 |
| Tabla 5. Rendimiento flota de volquetes para el mineral trasladado de CMC..... | 54 |
| Tabla 6. Rendimiento flota de volquetes para el traslado de desmonte de CMC..... | 54 |
| Tabla 7. Recorrido de la flota de volquetes para mineral / desmonte para la explotación | 54 |
| Tabla 8. Distancia y costo promedio de transporte (mineral y desmonte)..... | 55 |
| Tabla 9. Comparativo de Costos Escenario 45 tn vs Escenario 80 tn para el periodo 2022- 2029 | 92 |
| Tabla 10. Comparativo de Costos Escenario 45 tn vs Escenario 80 tn para el periodo 2022- 2029 | 93 |
| Tabla 11. Tasa de descuento 10%..... | 94 |
| Tabla 12. Tasa de descuento 12%..... | 94 |
| Tabla 13. Tasa de descuento 15%..... | 95 |
| Tabla 14. KPI volquete de doble tolva nv-350 | 95 |
| Tabla 15. KPI volquete de doble tolva nv-580..... | 97 |
| Tabla 16. KPI volquete de doble tolva nv-580..... | 97 |
| Tabla 17. Producción Proyectada Condestable 2021 – 2029 (LOM) | 97 |
| Tabla 18. Producción Proyectada Condestable 2022 – 2029 (LOM) | 98 |
| Tabla 19. KPI's promedio volquete 45 tn | 98 |
| Tabla 20. Cálculo de volquetes para flota de 45 tn: Escenario 45 tn | 98 |
| Tabla 21. Cálculo de flota escenario doble tolva: flota para volquetes de 80 tn y 45 tn. | 99 |
| Tabla 22. Consumo de combustible para el escenario de 80 tn y 45 tn Condestable periodo 2022 – 2029..... | 100 |
| Tabla 23. Programa de Producción 2022-2029..... | 101 |
| Tabla 24. Cálculo del nuevo P.U. para el escenario de uso de volquete de doble tolva periodo 2022-2029..... | 101 |
| Tabla 25. Costo de transporte escenario actual uso volquete 45 tn periodo 2022-2029 | 102 |
| Tabla 26. Costo de transporte de mineral escenario volquete de doble tolva 80 tn periodo 2022-2029..... | 102 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Indicadores de desempeño | 35 |
| Figura 2. Distribución del tiempo total | 36 |
| Figura 3. Distribución del tiempo total | 37 |
| Figura 4. Distribución del tiempo total | 37 |
| Figura 5. Mapa Ubicación Cía. Minera Condestable S.A..... | 41 |
| Figura 6. Línea de Tiempo - CMC..... | 42 |
| Figura 7. Ley de cobre en los recursos, Mina Raúl | 44 |
| Figura 8. Ley de cobre en los recursos, Mina Condestable | 44 |
| Figura 9. Evolución de tratamiento de toneladas por día..... | 45 |
| Figura 10. Producción vs. ley | 46 |
| Figura 11. Ciclo de extracción del mineral | 48 |
| Figura 12. Ubicación de las estructuras mineralizadas..... | 49 |
| Figura 13. Diagrama de Costos CMC (Desglose, Perforación y Voladura)..... | 50 |
| Figura 14. Ciclo de transporte actual con volquetes de 45 tn | 52 |
| Figura 15. Ruta de Ingreso y salida para la flota de volquetes 35 tn y 40 tn..... | 52 |
| Figura 16. Costo de transporte 2018-2021 y proyección del costo de transporte según MF 2022 y LOM 2023-2029 | 57 |
| Figura 17. Proyecto: Crucero para volquete de doble tolva nv-350 | 61 |
| Figura 18. Proyecto: Crucero para volquete de doble tolva, vista en planta Nivel 350..... | 62 |
| Figura 19. Proyecto: Crucero para volquete de doble tolva nv-350, vista en sección .. | 63 |
| Figura 20. Proyecto: Crucero para volquete de doble tolva, vista en sección..... | 64 |
| Figura 21. Proyecto: Rampa para volquete de doble tolva, vista en sección | 65 |
| Figura 22. Proyecto: Rampa para volquete de doble tolva, vista en sección | 66 |
| Figura 23. Proyecto: OP nv-580 al nv-460 versión 6-1 | 67 |
| Figura 24. Proyecto: OP nv-580 al nv-460 versión 6-2..... | 68 |
| Figura 25. Proyecto: OP nv-580 al nv-460 versión 6-3..... | 69 |
| Figura 26. Proyecto: Plano geomecánico nv-580..... | 70 |
| Figura 27. Proyecto: Plano geomecánico nv-460..... | 71 |
| Figura 28. Proyecto: Comparativo de alternativas para la construcción del Ore Pass nv-580 al nv-460..... | 72 |
| Figura 29. Proyecto: Comparativo en incidencia al recorrido del nv-580 al nv-460..... | 73 |
| Figura 30. Proyecto: Comparativo en incidencia al recorrido del nv-580 al nv-460..... | 74 |
| Figura 31. Proyecto: Capacidad de recepción OP nv-460 al nv-580 | 75 |
| Figura 32. Proyecto: OP nv-580..... | 76 |
| Figura 33. Proyecto: Parrilla nv-460..... | 77 |
| Figura 34. Proyecto: Parrilla nv-460 vista Planta..... | 78 |
| Figura 35. Proyecto: Ore Pass nv-580 al 700..... | 79 |
| Figura 36. Proyecto: Ore Pass nv-580 al 700..... | 80 |
| Figura 37. Costos operativos Vs Payload | 80 |
| Figura 38. Características técnicas del Volquete Carreta de 80 Ton (Scania) | 81 |
| Figura 39. Características técnicas del Volquete Carreta de 80 Ton (Scania) | 82 |
| Figura 40. Características técnicas del Volquete Carreta de 80 Ton (Scania) | 83 |
| Figura 41. Características técnicas del Volquete Carreta de 80 Ton | 84 |
| Figura 42. Radio de giro | 85 |
| Figura 43. Características técnicas del Volquete Carreta de 80 Ton..... | 86 |
| Figura 44. Características técnicas del Volquete Carreta de 80 Ton..... | 87 |

Figura 45. Ruta de Transporte: Chute 4351 Nv 350 –Superficie Plataforma – Chancado 88

Figura 46. Ruta de ingreso salida del volquete de doble tolva 90

Figura 47. Ciclo de acarreo, carguío y transporte del volquete de doble tolva..... 91

Figura 48. Comparativo de Costos Escenario 45 tn vs Escenario 80 tn para el periodo 2022- 2029 93



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la minería tiene un papel importante para satisfacer las necesidades de la creciente demanda de la tecnología limpia, puesto que se van a requerir 300 millones de toneladas de mineral y metales para la energía eólica, solar y geotérmica, lo que representa un aumento del 500% al 2050. Cabe indicar que, en el contexto mundial, la COVID-19 está causando muchos cambios importantes en la industria minera. Por tal motivo, los países en desarrollo que dependen de la industria minera deberán redoblar su compromiso para una minería climáticamente inteligente y mitigar los impactos negativos (Banco Mundial, 2020).

Asimismo, es preciso señalar que la pandemia por COVID-19 ha representado un reto para todos los sectores económicos, desde principios del 2020, ya que, las restricciones y medidas para combatir la pandemia han influido en las dinámicas laborales y en los indicadores económicos a nivel global. Por ejemplo, un reporte elaborado por la Cámara Minera del Perú indicó que “a partir de la situación pandemia, las minas -a nivel mundial- comenzaron a acelerar sus procesos de mecanización y, sobre todo, de automatización” (Camiper, 2021).

Toda esta situación se daba como parte de las medidas de bioseguridad, las cuales implicaban tener el mínimo contacto físico entre personas, técnica conocida con el nombre de distanciamiento físico. Algunos complejos mineros como el de Pilbara en Australia Occidental, han optado por la estrategia de camiones de acarreo autónomos en coordinación con operaciones de gestión y control a distancia. Por lo expuesto, se considera en general, que las nuevas tecnologías de comunicación e información, la aplicación de inteligencia artificial y recursos robotizados, es y será fundamental para superar los retos que, hoy por hoy, presenta la minería (Camiper, 2021).

Por consiguiente, en cuanto al contexto latinoamericano, un informe de la CEPAL (Bárcena, 2018), sostuvo que para la fecha, la región tendría una representación importante en cuanto a reservas de los minerales metálicos, por ejemplo: litio (61%); cobre (39%); plata (32%), entre otros. Además, los países más representativos en exportaciones -representando un 85% del total- serían: Brasil, Chile, México e indudablemente, el Perú.

En el contexto peruano, la minería en el año 2019 representó un 9% del PBI y el 61% de las exportaciones, siendo el cobre el que aporta el 55% del PBI Metálico (Minem 2019). Según el informe más reciente del BBVA (2019), ya se venía gestionando estrategias indicadas para fomentar la inversión en el sector minero, como: la reducción de la burocracia, las revisiones y mejoras en las normativas, la promoción de adecuados

entornos sociales, por ejemplo: la implementación de comités de información minero-energético y las intervenciones diferenciadas según cada proyecto. Es importante mencionar que, para alcanzar los objetivos del sector al 2021, sería relevante la optimización de la eficiencia general de las minas, la mejora en los aspectos de seguridad y la adaptación a las nuevas tecnologías.

La industria minera por ser un sector que depende directamente de los precios de los metales no tiene control de esta variable, pues estos están dados por los mercados internacionales, por lo que es importante tener una estrategia competitiva en la gestión de los costos ya que, el no tenerla puede traer consecuencias negativas para la empresa. En un eventual escenario donde los precios de los metales bajen y los costos de producción aumenten, se reflejará una disminución en el valor de los proyectos mineros trayendo consigo un descenso en la inversión de nuevos proyectos por parte de las empresas mineras.

Es preciso señalar que, las minas subterráneas tienen un gran desafío puesto que tienen que realizar construcciones de galerías, rampas, chimeneas, pozos, además de realizar en muchas de estas, sostenimientos que puedan garantizar la seguridad del personal, así como también de los equipos que son fundamentales para la extracción del mineral.

Muchas de las operaciones mineras en el Perú han pasado más de 40 años de explotación como es el caso de El Porvenir (Pasco), Uchucchacua (Arequipa) o Animón (Junín). Gracias a la ingeniería, han logrado que se trabaje cada vez de manera más eficiente por lo que muchas de las operaciones continúan ampliando su producción a pesar de que tienen una estructura compleja de galerías y labores mineras que se hicieron cada vez más profundas por las condiciones geológicas. Asimismo, tenemos minas cada vez más profundas como es el caso de Los Quenuales (Yauliyacu) que tiene más de 1500 m de profundización, El Porvenir-Nexa con 1400 m de profundización, Uchucchacua con 1300 m de profundidad, San Rafael- Minsur 1200 m de profundidad, Cobriza- Huancavelica Doe Run 1100 m de profundidad. Como se puede constatar, es una realidad que se vive actualmente en la minería peruana: las minas en su búsqueda de mineral, cada vez se hacen más profundas, trayendo como consecuencia un incremento en el costo de producción (Minem, 2020).

En las empresas mineras se presentan constantemente fallas relacionadas directamente con el transporte, lo que origina una disminución del tiempo a acarrear, retrasando estas operaciones. Los costos del uso de los camiones son los más representativos en la operación, lo que genera una permanente preocupación en la

ejecución de los proyectos, por lo que deben ser evaluados y comparados, como también se debe controlar la secuencia de la carga y descarga, toneladas a acarrear y el costo originado.

Entre las prioridades de las empresas mineras del Perú, está el uso de la mejor tecnología, por lo que buscan la aplicación de programas o herramientas de análisis matemático asistido por software, para planificar de una manera más eficiente sus operaciones. Como resultado, se mejoran las rutas, tiempos, peso de la carga, hora de despacho, entre otros. En la última década, diversos estudios vienen demostrando la eficiencia de la inteligencia artificial en camiones autómatas, camiones eléctricos, flotas de camiones en configuración carreta, tecnología de frenado regenerativo y bandas transportadoras con motores eléctricos (Moradi et al. 2019).

Según Chaowasakoo, la problemática relacionada con el desarrollo eficiente de las operaciones de transporte en diversos tipos de minas es suficiente para evidenciar que, “entre el 40 al 60% de los costos totales, corresponden a variables asociadas con la carga, descarga y traslado de materiales, por lo que usualmente estas actividades se realizan a través de camiones” (Chaowasakoo et al. 2017, pág.1052). Por lo tanto, es de gran importancia encontrar soluciones efectivas para la reducción de gastos relativos a estos factores. Cabe indicar que, en la actualidad, las minas se inclinan por la constante búsqueda de métodos y procedimientos que permitan usar menos energía, aumentar la seguridad y mejorar las operaciones de acarreo (Nehring et al. 2018, pág. 205).

El tipo de vehículo, tamaño, proporciones correctas, capacidad de carga y rendimiento general de los camiones que se van a emplear, es una preocupación de todas las empresas mineras. Esto es un problema latente que afecta los costos de muchas empresas generando que, en ocasiones, se llegue a triplicar la cantidad de viajes por ciclo, tiempos para carga y descarga, y la espera de los camiones en cola. Esta situación corresponde al escenario actual, resaltando la importancia de aplicar tecnologías modernas como una parte fundamental en las estrategias a considerar para atender la problemática de los costos en transportes (Moradi et al. 2019).

Por ejemplo, la Mina Condestable del distrito de Mala, provincia de Cañete, presenta diversos problemas relacionados a los costos operativos, ley, volumen, incluyendo los costos de transportes debido a las condiciones propias del yacimiento. Esto implica aspectos como la ubicación de la mineralización pues la mina tiene un depósito tipo Iron Oxide Copper and Gold (IOCG), la misma que -en su mayoría- tiene como característica ser vertical. Como consecuencia, es necesario efectuar labores de

profundización para realizar la explotación del yacimiento. Además, las leyes de los recursos tienden a disminuir. Según el registro histórico de leyes, en el año 1998 tenía un promedio de ley de 1.92% de Cu; sin embargo, a partir del año 2011 se tiene una ley promedio de 1.70% disminuyendo en un 11%. Asimismo, para el año 2020 se registró una ley promedio de 0.96%, lo cual representa una reducción del 50% y 44% con respecto a los años 1998 y 2011, respectivamente. Por estas razones, el empobrecimiento de ley es otra problemática que se necesita enfrentar para mantener el margen de rentabilidad de la empresa.

Aparte del empobrecimiento del yacimiento, otro problema que presenta Mina Condestable es el volumen de sus tajos. La mina tiene como método de explotación principal Sublevel stoping y representa el 80% del total de su producción. Debido a la reducción de potencia de sus estructuras, la mina se ve en la obligación de preparar un mayor número de tajos, incrementando así recursos para la preparación y explotación de estos. Por ejemplo, en el periodo del 2014 al 2018 se tenía un promedio de 60 tajos al año; sin embargo, en el año 2019 se incrementó a 95 tajos; en el 2021, se estima al cierre un promedio de 102 tajos y, para el año 2022 se prevé un promedio de 118 tajos. Como consecuencia, se tiene un incremento del costo de explotación.

Otro de los problemas que afectan los costos de la operación de la mina están relacionados a las condiciones geomecánicas del yacimiento, que han visto afectadas desfavorablemente a consecuencia de las voladuras y las características propias del macizo rocoso, por lo que se tiene un incremento en el sostenimiento para las labores de la mina. Debido a estas condiciones, el cash cost C1 (Opex) se ha incrementado; por ejemplo, para el año 2017 se tuvo un costo operativo de 1.61 \$/lb, en el 2019 un costo de 1.9\$/lb y para el año 2020 se tuvo un costo menor de 1.57 \$/lb. Cabe indicar que, esta reducción se da en gran parte por la paralización de actividades en el proceso debido a la pandemia generada por la COVID-19, asimismo, para el año 2021 se tuvo un costo de 2 \$/lb.

A consecuencia de las preparaciones para la explotación que cada vez más se encuentran en profundidad, el costo de transporte del mineral también se ha incrementado: en el año 2018 tenía un costo de 2.36\$/tn, mientras que para el año 2020 el costo de transporte del mineral aumentó a 2.54\$/tn. Por esta razón, se viene realizando pruebas con los volquetes para poder mantener el costo y no se incremente.

Ante esta situación, la empresa se ha visto en la necesidad de buscar nuevas alternativas para reducir sus costos operativos. Esto implica el diseño e implementación

de diversos proyectos para reducción de costos y cómo mejorar la productividad en el sostenimiento, eficiencias de scoop, jumbos y en tecnología moderna de transporte.

Para este estudio, el análisis estará enfocado en los aspectos del transporte de mineral y las iniciativas tecnológicas que permitan su reducción. El transporte es un rubro importante en la estructura de costos y representa un 8% del costo total operativo cach cost C1.

Uno de los principales proyectos que se está trabajando es en la implementación de una tecnología de camiones de mayor capacidad. Para ello, utilizarán un volquete de doble tolva de 80 tn de transporte de carga que doblaría la capacidad actual y debería reducir el número de viajes, minimizando así los costos de viaje.

En este escenario surge la siguiente interrogante:

¿De qué manera la aplicación de una tecnología moderna de transporte el volquete de doble tolva de capacidad de 80 tn mantendrá y/o reducirá los costos de transporte en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021?

De la que se desprenden como problemas específicos:

- ¿Cuáles son las características que tiene la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, que afectan sus costos durante el periodo 2020-2021?
- ¿Cuál sería el flujo de transporte de carga con la nueva tecnología, incluyendo los insumos y equipos necesarios?
- ¿Qué cantidad de viajes por día se conseguirá con el uso del volquete de doble tolva de capacidad de 80 tn en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021?
- ¿Cuál sería la velocidad de los viajes con el uso del volquete de doble tolva de capacidad de 80 tn en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021?
- ¿Qué distancia se puede recorrer con el volquete de doble tolva de capacidad de 80 tn en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021?
- ¿Cuántas toneladas puede transportar por viaje el volquete de doble tolva de capacidad de 80tn en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021?

Para ello se plantea como hipótesis general del presente estudio:

Con la implementación del volquete de doble tolva de capacidad de 80 tn como alternativa tecnológica, se incrementa la productividad en la minería subterránea Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021, debido a su mayor capacidad de carga, a menor costo por tonelada transportada, así como un menor costo en funcionamiento, mantenimiento y reparación.

Como hipótesis específicas se plantean:

- Las características generales de la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021 son adecuadas para el uso del volquete de doble tolva de capacidad de 80 tn.
- ¿Cuál sería el flujo de transporte de carga con la nueva tecnología, incluyendo los insumos y equipos necesarios?
- La cantidad de viajes por día se reducirá con el uso del del volquete de doble tolva de capacidad de 80 tn en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.
- La velocidad de los viajes se elevará con el uso del volquete de doble tolva de capacidad de 80 tn en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.
- La distancia recorrida con el volquete de doble tolva, en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021 es mayor.
- Las toneladas para transportar por viaje con el volquete de doble tolva de capacidad de 80 tn en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021 son mayores.

Como propuesta, se prevé desarrollar un proyecto piloto para evaluar el impacto del uso del volquete de doble tolva con la finalidad de transportar 80 toneladas de mineral, destacando que el camión es de diseño único para el uso de la Mina Condestable insertado por la empresa Scania, quien previo estudio diagnóstico de las particularidades de la mencionada mina, lo diseñó para tener una capacidad de arrastre de hasta 110 toneladas. Es un modelo de camión novedoso con el que se espera el incremento de la productividad, eficiencia y reducción de costos.

Para los problemas planteados es pertinente darle respuesta con los siguientes objetivos de investigación:

Determinar de qué manera el volquete de doble tolva de capacidad de 80 tn reducirá los costos de transporte en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.

Para ello, resulta oportuno cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- Determinar las características generales de la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.
- Determinar el flujo de transporte de carga con la nueva tecnología, incluyendo los insumos y equipos necesarios.
- Determinar la cantidad de viajes por día que se conseguirá con el uso del volquete de doble tolva de capacidad de 80 tn en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.
- Determinar la velocidad de los viajes con el uso del volquete de doble tolva de capacidad de 80 tn en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.
- Determinar la distancia se puede recorrer con el volquete de doble tolva de capacidad de 80 tn en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.
- Determinar las toneladas que se pueden transportar por viaje con el volquete de doble tolva de capacidad de 80 tn en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.

En lo que respecta al enfoque metodológico, la presente investigación está inserta en el paradigma fenomenológico, referido al “estudio de acciones y situaciones en determinados contextos. Se basa principalmente en la observación directa y en la escucha de relatos necesarios para la comprensión de las experiencias de los sujetos investigados” (Maykut & Morehouse, 2002)

Con este paradigma se analizan los significados de las personas en base a sus experiencias sociales, reflejadas en la descripción y construcción conceptual del relato (Bonilla & Rodríguez, 2000b).

La orientación fenomenológica del presente estudio se orienta en el postulado de Alfred Schütz, quien señala que la experiencia social nace de la ciencia social, considerando la cotidianidad. El análisis del presente estudio se basa en el enfoque

fenomenológico por tratarse de un estudio de caso. El estudio de caso finalmente implica una evaluación minuciosa para el descubrimiento de relaciones y significados. En lo que corresponde al enfoque pragmático, para este estudio corresponde el cualitativo, a partir de la descripción y reconstrucción de los procesos reales, en este caso observar, comparar y analizar los reportes de la productividad con las categorías que intervienen en el proceso. La metodología cualitativa es rigurosa en la interpretación de los datos, pues encara la realidad social investigada (Taylor & Bongdan, 2020)



CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE

En la minería, un factor importante que interviene en los costos es la ley del yacimiento. Inicialmente la industria minera se basaba en la estrategia de retornar su inversión en el menor tiempo posible, empezando por la explotación del mineral más accesible de la mina y con mayor ley. A medida que los yacimientos se agotan, se ha tenido que ingresar a zonas donde el mineral se encuentra muy lejano y con menores leyes de corte. Esto se refleja a nivel global, lo que implica “una disminución del 30% en las leyes promedio de las operaciones mineras mundiales” (Gerens, 2018).

En especial en los últimos años, las minas se han dado la tarea de buscar formas más eficientes de emplear sus recursos, ahorrar energía, aumentar la seguridad y la productividad general. A medida que las minas van profundizando y que, cada vez son menores las oportunidades de encontrar minas con baja complejidad para la movilización de los minerales, se proyecta que el futuro de la minería es altamente complejo. En este sentido, se prevé que la operación minera deberá mejorar su eficiencia en sus diversas etapas incluyendo el acarreo y transporte de materiales. Serán requeridos diseños de flujos de transportes que involucren vehículos más eficientes incluyendo camiones con mayor capacidad de carga, resistencia, mayor eficiencia de combustible y menores costos de mantenimiento. Es claro que, las minas del futuro enfrentarán condiciones menos favorables, en conjunto con los desafíos por ahorrar energía, combustible y gastos operacionales.

Dado que la extracción de minerales será -en el futuro- cada vez más profunda, el número de camiones necesarios se irá incrementando correlativamente. Todo ello implica -directamente- una mayor fuerza laboral que opere los vehículos, además de mayores gastos en mantenimiento y combustible. Por lo tanto, los índices de gastos operativos se verán incrementados, lógicamente. Es por ello que, desde este punto de vista, no parece sencillo determinar una solución permanente. Cabe resaltar que, ya sea por inclusión de tecnología auxiliar o por la sustitución de un tipo de camiones por otros, las decisiones implementadas deberán estar basadas en criterios muy rigurosos para garantizar que las medidas adoptadas sean las más viables (Nehring et al. 2018).

Como parte de la problemática básica del transporte minero está la implicancia en la toma de decisiones con respecto al tipo y tamaño de la flota, las proporciones y cantidades correctas de camiones, los tipos de camiones, la capacidad de carga, el rendimiento general, el consumo de combustible, la confiabilidad (reliability) y la

configuración de la flota, donde debe resolverse, por ejemplo, la cantidad de viajes de un ciclo (ida y vuelta) y los tiempos óptimos de carga, descarga, espera y cantidad de camiones en cola. En otras palabras, las variables implicadas en el transporte minero son considerables y, es por ello, que la tecnología es una parte fundamental de las estrategias a considerar para atender este problema (Moradi et al. 2019). En este sentido, los subtemas para el desarrollo del presente capítulo I denominado “Estado del Arte” corresponden a reducir costos de transporte y maximizar la productividad de transporte.

1.1 El transporte en minas

De acuerdo con Nehring, en la actualidad, las minas se inclinan por la constante búsqueda de métodos y procedimientos que permitan usar menos energía, aumentar la seguridad y mejorar las operaciones de acarreo. Algunas de las más importantes operaciones de transporte minero son, según Chaowasakoo:

- Carga
- Descarga
- Transporte

La maquinaria utilizada para llevar a cabo estas acciones, fundamentalmente, consiste en el: camión pala (la pala/shovel-truck), camión de acarreo (haulage-truck), camión de volteo (dump-truck) y/o tecnología auxiliar como la cinta o banda transportadora (Yakovlev et al., 2016). Algunos modelos de camiones combinan varias funciones, como el LKP-1601B (polaco), que está equipado con tecnología para la carga, acarreo y volteo. Sin embargo, la mejor tecnología, no sería aprovechada de manera óptima sin un proceso racional de implementación o gestión; es por ello que, autores como: Nakousi, han propuesto la aplicación de una serie de programas o herramientas de análisis matemático asistido por software, que permita la adecuada planificación de las operaciones, rutas, tiempos, peso de la carga, hora de despacho, entre otros (Nakousi et al. 2018). El transporte minero puede beneficiarse de tecnologías avanzadas, basadas en inteligencia artificial, camiones autómatas, camiones eléctricos y flotas de camiones en configuración carreta (Bhoopalam et al. 2018).

1.1.1 Importancia de la reducción de costos de transporte en minas

La reducción de costos en el transporte minero es crucial, por varias razones. En primer lugar, está generalmente asociado (aunque no en todos los casos) con un aumento en la productividad, no solo de transporte, sino de la eficiencia general de la

mina (Bajany et al. 2019). En segundo lugar, la reducción de costos en el transporte, suele ser función de una serie de medidas racionales, llevadas a cabo mediante minuciosos análisis cuantitativos, los cuales implican, a su vez, mejoría en la seguridad de las operaciones, organización optimizada y procesos, en general, con menos retrasos.

La solución a los problemas de transporte en minas no radica, únicamente, en conseguir los mejores camiones o incrementar el tamaño de la flota. Cada mina es un caso particular que se encuentra bajo la influencia de variables distintas y de una carga de incertidumbre comúnmente esperada. Incluso los factores políticos y económicos inciden en su desempeño; por lo que, la toma de decisiones acerca de cómo resolver una determinada situación, ya sea porque los gastos en el sistema de transporte se están incrementando más de lo normal, o porque, la flota no esté rindiendo de manera óptima, debe pasar por un riguroso procedimiento de análisis que justifique y sustente la aplicación de las mejores medidas. Normalmente, este análisis implica la medición de variables importantes y la consideración de factores como el tipo de: flota, camiones, el mineral que se va a transportar, las características del terreno y de las rutas, las proporciones de la maquinaria respecto de los diversos tipos de elementos involucrados, la profundidad de la mina, los recursos disponibles, las ganancias esperadas, entre otros.

Es importante destacar a Ozdemir y Kumral, quienes indican que “el problema de reducir los costos de transporte en minas, es fundamental para el correcto desempeño del resto de las funciones del complejo y que, además, es un factor indispensable para una economía sostenible”. A continuación, se procede a detallar, según las variantes los modelos de diseño e implementaciones tecnológicas, los aportes realizados, según los autores, para solucionar o mitigar el problema de la reducción de costos en el transporte minero (Ozdemir y Kumral, 2019, pág.36).

Un estudio realizado por Yakovlev en Rusia, analizó la aplicación del Método Cíclico-Continuo (CCT) en el proceso de transporte en minas a cielo abierto. Cabe indicar que, las minas a cielo abierto comienzan a presentar dificultades cuando se profundizan, y entre las más importantes, se pueden citar a las de transporte de materiales. Una tendencia común ha sido la de emplear transporte basado en vehículos automotores; sin embargo, una alternativa altamente eficiente es la del Método Cíclico-Continuo de transporte que combina camiones y cintas transportadoras. Asimismo, modificando el estándar común de colocación de la unidad de aplastamiento y carga, se profundiza su ubicación en unos 90 metros, colocando la cinta transportadora entre esta

y la pista de acarreo, en lugar de colocarla cerca del último límite de la fosa (Yakovlev et al. 2016)

Normalmente, sin aplicar este correctivo, los costos de transporte pueden incluso duplicarse (además, representando un potencial riesgo por el deterioro de los camiones) en comparación con la utilización del Método Cíclico-Continuo. Los hallazgos especifican que, cuando el volumen de transporte excede los 15 millones de toneladas, el CCT puede reducir los gastos operativos en una proporción de hasta dos o tres veces. El resultado es que los camiones recorren menos distancias, así como la mina se explota con una mejor organización, la maquinaria sufre menor deterioro y las operaciones de transporte se realizan más rápido.

Este autor también señala que, en Rusia, particularmente las minas de cielo abierto no han tenido una tradición en el empleo de estas tecnologías, ya que se habían afianzado, más que todo, en el Método del ferrocarril. Por otro lado, debido a que el pit fue profundizando, ocurrió un auge en la utilización de los vehículos automotores para la preparación de nuevos niveles, a manera de poder transportar los volúmenes de materiales a estaciones de carga y descarga. Para la década de los 70, el Método ferroviario había resultado prácticamente estéril en minas que habían profundizado lo suficiente, como para que los camiones tuvieran que subir hasta 150 o 200 metros. Parte de esto explica que la implementación de los sistemas CCT debe anticiparse con cierta planificación.

Por otro lado, una investigación realizada por Fuqing propuso la aplicación de la distribución bivariado de Weibull para combinar dos modelos clásicos de Weibull por un solo exponente. Ese exponente puede representar la correlación entre dos dimensiones que, pueden formar parte de un sistema de ingeniería; en este caso, se trata de la carga de trabajo en camiones que operan en minas y el calendario de trabajo (periodicidad de las actividades). El método Weibull es útil para identificar tasas (rates) de fallas constantes, o que puedan incrementar o disminuirse. El análisis de los resultados implicó que el modelo más apropiado para adecuarse a la data histórica de la curva de trabajo y la ciclicidad de las actividades en los camiones era el modelo exponencial. Esto permitió estimar un modelo de confiabilidad de los camiones, hallando una correlación entre la carga y el calendario de trabajo (Fuqing et al. 2017)

El modelo permite acumular data histórica que asocia un índice de confiabilidad de acuerdo con la carga de trabajo en toneladas, vinculando con el esquema de trabajo; lo que resulta útil para programar calendarios de mantenimiento en el equipo, resultando en un ahorro de costos de transporte por desgaste de los camiones. Un aspecto que

señala el autor es que la elaboración de estas simulaciones suele consumir tiempo y se requiere que la data disponible sea lo suficientemente precisa para disminuir el margen de error en las estimaciones.

El autor indica que los modelos matemáticos multidimensionales o bidimensionales para determinar fallas, son útiles cuando la falla en un sistema es una variable dependiente de otra, por ejemplo, las fallas en una rueda y en el eje, en los vehículos, son correlativas. Esta investigación se llevó a cabo en los camiones de la Mina Jajarm Bauxite en Irán, donde los minerales extraídos y los sobrantes, son acarreados a las ubicaciones de depósito destinadas. Para este caso, el nivel de correlación de las variables estudiadas se evidenció significativamente.

Por otra parte, un estudio elaborado por Nakousi presentó la propuesta de un modelo de programación mixta de enteros, que tomó en cuenta variables como el consumo de combustible, el deterioro de la maquinaria, la capacidad de carga, entre otros, en camiones de transporte minero, buscando la reducción de costos en el proceso de acarreo. Los resultados de la aplicación del programa indican una reducción del 13% en costos de transporte, con una proyección de ahorro a diez años.

Dado que hasta el 50% de los costes operativos en una mina a cielo abierto se ubican en los procesos de transporte, resulta de vital importancia encontrar las estrategias que permitan minimizar ese gasto. Este modelo de programación permite manejar las variables mencionadas, buscando detallar información relevante para la planificación y toma de decisiones. Facilita la coordinación de los esquemas de transporte, cantidad de camiones, peso de la carga, tiempo de espera y hora de despacho. Funciona en flotas mixtas y heterogéneas. El programa ejecuta una función que permite identificar el esquema más práctico para reducir consumo de combustible, optimizar el mantenimiento de la flota y mejorar la operatividad de la mina.

En este mismo orden de ideas, Bakhtavar y Mahmoudi ejecutaron una investigación en una mina de cobre, donde implementaron una optimización robusta basada en escenarios (SBRO) para solucionar el problema de la cantidad y capacidad de camiones de carga. Este modelo permitió modelar el proceso fundamental de la mina a través del ciclo: perforación, voladura, acarreo, demolición y vertido. Considerando las variables de capacidad de carga del camión y la disponibilidad de camiones en número, el modelo SBRO buscó incrementar el número de camiones y la capacidad de carga. La implementación del programa aumentó la capacidad de acarreo en 719 toneladas por cada cambio y redujo el costo operacional en 1.825\$ en comparación con una reducción del 1.204\$ con el modelo anterior. Para este caso, se propuso que se emplearan

camiones con capacidades entre 8 - 14m³ en lugar de 4.6 - 6.1m³. Es decir, el algoritmo permite calcular la cantidad y el tipo de camiones a usar. (Bakhtavar & Mahmoudi, 2018, p. 115),

Por otra parte, Kumykova y Kumykov llevaron a cabo un estudio en el que aplicaron el método estadístico de testeo conocido como la Técnica de Monte Carlo, en la que establecieron un sistema de producción considerando los camiones de pala (shovel truck) y de volteo (dump truck) en minas complejas de cielo abierto. Las lecturas con parada de reloj permitieron relacionar el nivel de producción del sistema, el grado de fragmentación del material y las sobrecargas de contenedores, ya que el tiempo de carga de un camión, se da en función del nivel de fragmentación del material como producto del proceso de voladura (Kumykova & Kumykov, 2018, p. 708). En conclusión, lo que se pretendió fue buscar el promedio de números de camiones de volteo por palas, estimando el tiempo promedio de espera del camión volteo para ser cargado.

El procedimiento desarrollado permitió establecer un equilibrio entre las proporciones, tomando en cuenta la distribución geométrica de la Mina Delnezapadny, logrando reducir costos, determinando que, para este caso, el número de camiones de volteo esperando para carga sería de tres, mientras que, en promedio, un camión sería cargado en un minuto, con un tiempo de espera de 3,3 minutos en cola.

A su vez, autores como Oggeri diseñaron una serie de procedimientos sistemáticos en el laboratorio que, posteriormente, fueron implementados en la práctica al caso de una mina a cielo abierto con presencia de un lago y condiciones meteorológicas adversas. Se implementó análisis odométrico, de sedimentación, pruebas geomecánicas y pruebas sobre las características y dimensiones de la carga. Los autores aportaron las siguientes conclusiones: “reducir las etapas de transporte y manejo de materiales, caracterizar el tipo de material que se va a manejar y el tipo de tareas a realizar para una elección racional de los equipos, evaluar la compatibilidad ambiental-química (sobre todo en casos de interferencias con agua, lagos u otro tipo de variables) y organizar las operaciones en el sitio con el objetivo de reducir costos y carga de trabajo” (Oggeri et al. 2019).

Del mismo modo, autores como Bajany diseñaron un estudio en el que analizaron la problemática del transporte de cargas en minas a cielo abierto que están profundizando, dado que el acarreo suele conllevar entre un 50 a un 60% del coste total de las operaciones, diseñaron un modelo que pretendió solucionar la problemática sobre cómo distribuir los camiones, para gastar menos combustible por tonelada transportada. El consumo de combustible se da en función del tamaño y el tipo de camión, tiempo de

operaciones, condiciones de las operaciones y especificaciones técnicas. El modelo se llevó a cabo en una simulación computarizada, considerando una flota mixta de camiones-pala (shovel-truck) hallando el número óptimo de viajes que cada camión debía realizar en cada ruta de la mina por cada cambio. La distribución optimizada consistió en una reducción de consumo de combustible y ahorro en costes de traslados en las operaciones de acarreo. (Bajany et al. 2019)

Así pues, Zhao y Bi realizaron un estudio en el que consideraron factores del terreno y la distribución de la flota de camiones en minas de cielo abierto, para elaborar un mapa digitalizado mediante un algoritmo híbrido asistido por inteligencia artificial. Se diseñó un mapa digital de alta precisión de la zona de operaciones y posteriormente se elaboró un mapa de costo de transporte por obstáculos; para terminar, se combinaron ambos mapas generando así el producto final del costo de rutas. La implementación del programa redujo los costos de transporte en un 20% más que con las rutas anteriores, que no consideraron los factores del terreno (Zhao& Bi, 2020, p. 10) Por otra parte, se ha señalado que, los camiones autómatas también presentan retos en su aplicación; por ejemplo, para su programación, para la detección de cambios en el entorno y para el diseño de las rutas. Debido a que los detalles pequeños del terreno no siempre son tomados en cuenta, en este estudio se determinó abordar un mapeo más específico, antes descrito.

Es importante destacar que, este autor también estima -en función de antecedentes- que “los costos operaciones de transporte pueden llegar a representar hasta el 50% del total de las operaciones y que, la conducción autónoma de los camiones en minas subterráneas ha sido aplicada con total éxito”. Al contrario de lo que podría pensarse, las minas a cielo abierto resultan excelentes escenarios para la implementación de la tecnología automática, ya que el medio suele ser relativamente cerrado y es posible que no existan tantos factores intervinientes externos. Algunos estudios, como los mencionados en Zhao y Bi, señalan que la implementación de flotas autónomas ha mejorado la capacidad de acarreo hasta en un 40% y reducido el costo de transporte en un 15%.

De igual manera, Hajarian y Osanloo desarrollaron una investigación en la que analizaron la problemática del transporte de materiales en minas, considerando, también, los desperdicios y residuos de las operaciones. “Una mala gestión de los residuos puede representar un grave problema de seguridad y aumento en los costos de transporte, además de un riesgo para la maquinaria y el personal que labora en la mina” (Hajarian & Osanloo, 2020, p. 1413). Este estudio es interesante, ya que, además

de variables geotécnicas, indica que, se deben tomar en cuenta, variables como: la topografía, el tamaño de la cadena de transporte y los costos para elaboración de rutas. El modelo propuesto (un modelo matemático lineal) se centró en encontrar una mejor ubicación del vertedero de residuos, en coordinación con la ruta principal de acarreo, para reducir costos de transporte.

La elección se hizo optimizando el tiempo y distancia de los recorridos de carga, así como un análisis cuantitativo minucioso de las propiedades de posibles ubicaciones. El efecto general se evaluó positivamente, se indicó en las sugerencias que, estos modelos deben considerar posibles limitaciones e interacciones con elementos del entorno, como la cercanía de poblaciones o reservorios de biodiversidad. Según estos autores, la selección del vertedero tiene relevancia debido a sus implicaciones económicas y técnicas. Indican que, el vertedero debería estar ubicado en una posición equilibrada respecto de los puntos de salida de la fosa de la mina, estos puntos, podrían ser, por ejemplo, dos. En caso de que tenga una única salida, podrían considerarse otras salidas, o podría determinarse que el problema tiene que ver con la distribución del complejo. A estos efectos, los autores señalan los pasos principales en el diseño del vertedero:

- Recolección de información sobre el sitio: tipos de vehículos, volumen de tráfico, unidades de acarreo, vida de la vía, materiales disponibles y volumen de los desperdicios.
- Asignación de ubicación plana: mínima distancia, costos mínimos de conectividad de las vías, límites del pit, entre otros. Todo esto en relación con la salida del pit.
- Evaluación del ambiente-geotécnica: parámetros de calidad mecánica, variables ambientales como árboles o vegetación, seguridad ante inundaciones, entre otros.
- Parámetros geométricos: capacidad del vertedero, ángulo de reposo, forma, entre otros.
- Parámetros econométricos: costos de capital y costos operacionales.

Todas estas variables se deben considerar en sentido cíclico. Esta problemática, de hecho, no siempre ha sido abordada a través de métodos matemáticos. Esta investigación propone una mejor distribución de las operaciones de transporte, a partir de la ubicación óptima del vertedero, considerando las consecuencias económicas

y operativas. Para lograrlo, los investigadores se apoyaron en métodos cuantitativos como prioridad de objetividad y precisión.

Finalmente, autores como Bernardi realizaron una investigación en la que compararon la eficiencia entre los sistemas de demolición y transporte en el pit (IPCC) -móviles y fijos- y sistemas basados en camiones volteo en la industria minera, todo ello por medio de simulaciones computarizadas. El algoritmo de simulación de eventos discretos permitió comparar ambos sistemas, alimentado por data histórica del rendimiento y manejo de los materiales en una mina, de acuerdo con diferentes configuraciones geométricas. Un algoritmo de optimización fue programado para mejorar la eficiencia costo-rendimiento. La conclusión general fue que, el modelo semimóvil IPCC va resultando más eficiente que el método tradicional, o incluso que el método IPCC fijo, a medida que la mina va profundizando, permitiendo ahorrar en costos de transporte (Bernardi et al. 2020).

De acuerdo con estos autores, una configuración básica de un sistema IPCC consiste en colocar el proceso de trituración lejos del molino, en lugar de ubicarlo adyacente al sistema tradicional de carga de camiones de acarreo. El triturador reduce el tamaño de las partículas, permitiendo que sea movilizada por una cinta transportadora hasta el molino. Lo que se espera de este sistema es un ahorro en tiempos operativos de camiones en la que, la implementación signifique una ganancia de capital a raíz de la inversión en la cinta transportadora, en el caso de las minas que han funcionado exclusivamente con camiones.

1.1.2 Implementaciones tecnológicas para el monitoreo del estado de la maquinaria operativa en minas subterráneas

En cuanto a las implementaciones tecnológicas, Samatamba et al. (2020), desarrollaron un programa que permitió realizar el monitoreo del estado de la maquinaria operativa en una mina subterránea, estableciendo medidas de efectividad general que permitieran elaborar esquemas preventivos de mantenimiento para ahorrar costos en transporte. Los niveles de eficiencia se determinaron a través de variables como capacidad de carga, tiempo del traslado, distancia, entre otros; construyendo los tiempos de funcionamiento promedio antes de que ocurra una falla en maquinaria y camiones. Los índices de efectividad fueron correlacionados con la duración de las operaciones, para operar mantenimientos preventivos en los equipos; conduciendo a evitar costos de transporte y pérdidas económicas en general.

En una línea similar, Krot et al. (2020), implementaron sensores en los camiones de una flota de una mina subterránea, que permitieran recopilar información

acerca de la presión de los frenos, la temperatura del motor, las horas de trabajo, la temperatura del aceite del motor, las rotaciones y aceleración del motor, el consumo de combustible, la presión del aceite de la caja, la presión hidráulica, la velocidad de la máquina, el cambio de dirección y la posición del pedal de freno. Asimismo, estos datos fueron procesados en un computador, calibrado para detectar fallas en los camiones y elaborar esquemas de mantenimiento preventivo que permitan reducir costos por mantenimiento de la flota. El programa también fue configurado para detectar si los sensores han sido dañados o si se encuentran ausentes, lo que implica un dato importante también, para la elaboración del esquema predictivo. Esta implementación obtuvo un 90% de confiabilidad en la predicción y un margen de error por detección de falsos positivos de un 5%.

Por su parte, autores como Terblanche, realizaron una investigación en la que se plantearon como objetivo reducir los costos de transporte en minas que han aumentado su nivel de profundización hasta 600 metros. Para ello, analizaron la implementación de los Sistemas de Recuperación de Energía (ERSs) en camiones de acarreo de diésel y llegaron a la conclusión de que estos procedimientos pueden ahorrar costos de transporte, pero que, en general, aumentaban los costos relacionados con los camiones. En lugar de implementar la tecnología ERSs, implementaron tecnología de baterías de litio, hierro y fosfato (LiFePO_4), obteniendo como resultado que, se alcanza una reducción en costos de transporte entre 1.4 y 6.2% en comparación con otras tecnologías (Terblanche et al. 2019).

También, los autores como Alla realizaron una investigación en cuanto al monitoreo constante de camiones de carga en minas. Empleando el método de Monitoreo de Condición en Tiempo Real (RTCM), se emplearon técnicas de significancia estadística, como la prueba de Wilcoxon, para comparar el rendimiento del modelo en contraste con métodos de mantenimiento preventivo no continuos. El modelo se diseñó para obtener y registrar información en tiempo real sobre el rendimiento del motor de los camiones, los frenos y el cuerpo de descarga. Los datos fueron analizados mediante una distribución normal. Los resultados indicaron que, el modelo RTCM es lo suficientemente confiable (con una tasa de error del 5%) para realizar un mantenimiento preventivo, inteligente, que permita ahorrar costos de transporte, evitando el deterioro de la maquinaria (Alla et al. 2020)

Finalmente, Kawalec et al. (2020), elaboraron una investigación en minas polacas que enfrentaban problemas de desarrollo sostenible y que tenían como prioridad, tomar decisiones respecto a mejoras tecnológicas para reducir costos de

transporte. Para solucionar este problema, propusieron utilizar tecnología de recuperación de energía, implementando el sistema de cintas transportadoras regenerativas. El sistema permite generar energía en una cinta transportadora descendente a partir de la energía gravitacional potencial acumulada. Se toman en consideración dos factores: primero, que los materiales se transporten en forma descendente, inclinada y segundo, que el trabajo de las fuerzas gravitacionales de los materiales transportados sobrepase las resistencias de movimiento de la cinta transportadora; esta variable se maneja con la ayuda de un banco de almacenamiento en los puntos de carga para mantener el rendimiento. La diferencia en el costo de transporte, entre el uso de camiones y el uso de cintas transportadoras, es del 95% según sostienen los autores.

En el ámbito de las implementaciones tecnológicas, Mswana y Bowman (2018), analizaron el caso del auge de las minas mecanizadas en el grupo de platino de metales sudafricanos. Una revisión de la literatura indica que las condiciones económicas y sociopolíticas han influenciado en el aumento de la mecanización de minas. La tendencia se explica por las necesidades -cada vez mayores- de disminución de costos de producción, aumento del rendimiento general y afrontamiento de la caída de los precios de los metales. Los autores señalan que -en el caso sudafricano- “la mecanización de las minas responde a factores asociados a tensiones sociales y dinámicas complejas en las relaciones de negocios. Sin embargo, la mecanización de las minas es vista como una necesidad imperiosa para el desarrollo sostenible” (pág. 227).

Para ello, Cruzat y Valenzuela (2018), mencionan una de las más importantes soluciones tecnológicas al problema del aumento de la productividad del sistema de transporte minero, en minas a cielo abierto: una flota de camiones asistida por un sistema de carreta. El modelo se implementó en una mina de cobre en Chile. El sistema funcionó con un convertidor AFE y un modelo electromecánico de camiones mineros. Los resultados indican un 44% de incremento en la velocidad, un 16% de reducción en el tiempo de viaje y un ahorro del 85% de combustible en cada ciclo de traslado. (pág. 3971).

En la misma línea, Bhoopalam et al., (2018), realizaron una revisión sistemática de la literatura acerca de la flota de camiones como respuesta ante la creciente demanda de mejora en la productividad del transporte de acarreo. La flota de camiones es un sistema de camiones que conducen uno, cerca del otro, estilo carreta, y que están equipados con tecnología automática, que se maneja con inteligencia artificial basada en

algoritmos de machine learning (aprendizaje automatizado). Los beneficios de la implementación de estas tecnologías son: el ahorro de costes, reducción de la contaminación y el aumento de la operatividad del sistema. Los autores indican que la revisión de la literatura favorece la implementación de camiones autómatas en el presente y en un futuro cercano.

Así pues, autores como Peña, diseñaron un programa lineal en enteros mixta para optimizar los costos totales de la flota de camiones en sistemas de transporte. El modelo consideró variables como las operaciones de traslado, el costo de energía y la demanda de la flota. Los cálculos de predicción se apoyaron en algoritmos de regresión lineal. La validación del modelo señaló un índice de predicción del 90%, a lo largo de diferentes arquitecturas de transporte en doce flotas representativas. El modelo posee la suficiente confiabilidad como para tomar decisiones que permitan una optimización del desempeño del transporte (Peña et al. 2019)

1.1.3 La productividad del transporte en minas

La productividad es un indicador que mide la eficiencia productiva por cada factor de recurso usado, y conseguir el mayor rendimiento posible usando una cantidad mínima de recursos. Entonces cuanto menor sean los recursos necesarios para la producción de una misma cantidad, la productividad y la eficiencia serán mayores. (Desol, 2020)

Según Ozdemir y Kumral (2019), “el análisis de la problemática de la productividad del transporte se debe enfocar en una serie de variables que, no suelen ser constantes para todas las minas”; es decir, se hace necesario considerar el tipo de mina, las variables climatológicas, la estimación del riesgo, los tiempos de ciclos, la profundización, la tecnología disponible, entre otros. Un problema clásico, consiste en cómo optimizar la proporción de camiones según, por ejemplo, la cantidad de palas disponibles, todo ello para evitar camiones acumulados en cola y en espera de ser cargados. Otra problemática común suele ser el inadecuado trazado de las rutas de transporte, ya que, no siempre resulta claro establecer la vía más eficiente (Baek & Choi, 2017, p.7).

Por otra parte, autores como Krot et al., (2020), se inclinan a favor de una serie de aplicaciones técnicas en flotas de camiones como, por ejemplo, implementar esquemas de mantenimiento estructurados a razón de monitoreos continuos inteligentes que aumenten el rendimiento general de los equipos, además de alargar la vida útil de los mismos.

Es importante considerar que, según Kawalec et al. (2020), “la implementación de tecnología auxiliar como la de cintas transportadoras generadoras, no solo puede incrementar la productividad del transporte sino, la productividad general del complejo, considerando que la tecnología regenerativa de energía puede ser implementada también en los frenos de los camiones”.

De acuerdo con Kumykova y Kumykov (2018), optimizar las operaciones de transporte es fundamental para mantener una sostenibilidad económica de la mina, además de que, correlativamente, incrementa la confiabilidad y operatividad del complejo. Es necesario indicar que, en la actualidad, según un informe de Camiper (2021), el aumento de la productividad del transporte minero va de la mano de la tecnología, y que es una respuesta impulsada por los retos de la pandemia COVID-19.

1.1.4 Indicadores de productividad del transporte

En cuanto a los indicadores de productividad del transporte, según Baek y Choi (2019), son los siguientes:

- Tiempo de trabajo diario
- Número de camiones
- Intervalo de tiempo de despacho
- Capacidad del camión
- Tiempo de traslado con camión vacío
- Tiempo de traslado con camión cargado
- Horas de trabajo
- Tiempo de volteo
- Tiempo de espera para volteo

Por su parte, según Kawalec et al. (2020), los indicadores de productividad del sistema de transporte minero basados en un enfoque de ahorro de energía, son los siguientes:

- Distancia recorrida
- Consumo promedio de combustible
- Consumo total de combustible
- Consumo de energía
- Horas de trabajo
- Velocidad promedio

Dicho lo anterior, se procede con una revisión detallada de los aportes de diversas investigaciones en cuanto a la optimización del transporte. El tema ha sido abordado desde diferentes perspectivas y, al igual que en el caso de la reducción de costos, las propuestas se dividen en modelos racionales de toma de decisiones para optimizar la utilización de los recursos y/o en la aplicación de mejoras tecnológicas directas a los equipos y maquinaria del transporte.

1.1.5 Métodos y diseño

En cuanto a los modelos de diseño para el aumento en la productividad de transporte en operaciones mineras, Chaowasakoo et al. (2017) aplicaron el factor de relación de coincidencia como un método para encontrar las proporciones adecuadas entre los diferentes tipos de camiones, a través de una simulación. La aplicación se realizó por medio de métodos heurísticos de despacho de camiones, los cuales demostraron tener un efecto positivo en el rendimiento general. Las reglas elaboradas fueron las siguientes: los camiones seleccionados se asignan a las palas que se espera que tengan el mayor tiempo de inactividad; lo que se busca es que el camión esté en posición, listo para ser cargado, al mismo tiempo que la pala termine de cargar el camión anterior. Posteriormente, los camiones seleccionados se asignan a las palas para que permitan el ciclo más corto de tiempo del camión. Luego, la asignación de los camiones seleccionados se realiza conforme a las palas en las que la operación de carga inicia primero; finalmente, los primeros pocos camiones con el menor tiempo de espera se asignan a la pala a intervalos de tiempo iguales para que esta no quede inactiva. El método fue probado como aplicable y con un gran potencial de aumento en la productividad del transporte.

En otra línea, Baek y Choi (2017), abordaron el problema del diseño de rutas para el transporte de materiales y de residuos hasta la superficie (en minas a cielo abierto). El trazado de las rutas se optimizó por medio del análisis de trayectos de menor costo basados en ráster. Los resultados de rutas en zigzag se simplificaron empleando el algoritmo de Douglas-Peucker. La disposición de la ruta se modificó como resultado de la curvatura sugerida por las guías de diseño. Finalmente, se elaboró un mapa en 3D que combinara la modificación de la disposición con la inclinación de la mina de cielo abierto. El modelo fue aplicado a una mina de oro, logrando diseñar rutas de transporte que permitieran optimizar la productividad general de los acarreos.

Por otro lado, Nehring et al. (2018), llevaron a cabo un estudio en el que analizaron los sistemas de demolición en el pit y transporte (In-pit crushing and conveying, IPCC) como una herramienta alternativa al empleo del tradicional sistema de

acarreo con camiones de transporte. Se considera que, la utilización de estos sistemas requiere de un minucioso análisis racional y que, es necesario, abarcar diversos indicadores económicos para asegurar la implementación. Se determinó que con variantes del sistema IPCC se puede aumentar la productividad de la mina hasta dos o tres veces, disminuyendo, además, los gastos de explotación (Operating expenditure, OPEX). No obstante, este factor deja de ser tan relevante, cuando la fosa de la mina se vuelve más estrecha.

Estos autores también señalan que, el cambio de los precios de los materiales en el mercado internacional ha impulsado la aceleración de muchos cambios en estos sectores industriales. Para poder ser competitivos, las minas enfrentan el problema de reducir costos y mejorar la productividad general. La mejoría en los sistemas va de la mano con los adelantos tecnológicos y del análisis de la situación particular de cada caso. Históricamente, las minas superficiales se han podido apoyar en sistemas de economía de escala y han utilizado sistemas tradicionales de transporte de camiones y palas. No obstante, existe cierto límite que algunas minas no pueden sobrepasar, en cuanto a la medida de incremento del tamaño de su flota.

Se ha determinado que, el sistema tradicional de camiones y palas es un procedimiento que consume mucho combustible y agua. También, está relacionado con mayores índices de contaminación e incluso, riesgos ocupacionales. Existen estudios que se han encargado de determinar las afectaciones en el ámbito de la salud ocupacional del conductor de camiones, lo que tiene cierta lógica ya que, si el trabajador enferma a causa de alguna medida inadecuada en el área, le genera gastos por tratamiento y recuperación a la empresa (Nehring et al. 2018).

Continuando, Moradi et al. (2019), analizaron el transporte dinámico en minas superficiales, buscando el aumento de la productividad por medio de la implementación de un modelo de programación multiobjetivo que incluya el proceso de acarreo y de descarga de material residual, para encontrar el equilibrio en las operaciones de carga y descarga de materiales. La idea es evitar una desviación de cualquiera de los objetivos, aumentando la productividad del transporte. El programa funciona ubicando las rutas más cortas, optimizando la producción de estas y despachando los camiones en tiempo real. El modelo permitió reducir el tamaño de la flota en un 16%, disminuyendo así los costos operacionales.

Así pues, Moradi (2019), considera en su investigación los pormenores de la planificación estratégica, en general, en minas y en particular, el sistema de transporte. Indica, en primer lugar, que la planificación de las minas se realiza en tres espectros

temporales: de corto plazo (un año); de medio plazo (hasta cinco años) y de largo plazo (hasta acabarse la vida de la mina). Así pues, esto resulta importante porque señala que el plan operacional, dentro del que se consideran los pormenores del sistema de transporte, se elabora el espectro de corto plazo. Según los autores, eso abarca un proceso dinámico de toma de decisiones en tiempo real, donde se consideran las variables asociadas a las rutas más cortas entre los puntos de carga y de volteo, por ejemplo, la proporción óptima de productividad a lo largo de cada ruta, la colocación de los camiones en las rutas y las horas de despacho.

Los autores estiman, en concordancia con los autores citados anteriormente que, hasta un 50% de los gastos se pueden concentrar en las operaciones de transporte. De manera que, mejorar la productividad de la flota es fundamental para la sostenibilidad de la mina. Asimismo, señalan que, el Sistema de Gestión de Flota (Fleet Management System/FMS) es un eslabón entre los planes estratégicos y los planes operativos, ya que estos deben conducirse en tiempo real y están directamente asociados con la producción. Se estima que el cumplimiento de los objetivos operacionales es función de una adecuada gestión de la flota. Por consiguiente, la gestión de la flota se enfrenta a los problemas acerca de cómo encontrar las rutas óptimas entre los camiones de carga y sus destinos, estimar las tasas óptimas de funcionamiento, lo suficientemente confiables como para que no exista una desvirtuación del plan estratégico y la asignación de los camiones a las palas disponibles para ser cargados.

Queda claro que, las consecuencias económicas para la mina serían fatales, en el caso de que alguna de estas decisiones no se tome con la debida rigurosidad. En cuanto al problema de encontrar las rutas más cortas para que los camiones descarguen el material en los puntos indicados, se ha propuesto que, usualmente se solucione por medio de algoritmos. Este problema, aparentemente sencillo, se complejiza por variables mediacionales como: la antigüedad del camión, su rendimiento actual, nivel de mantenimiento e incluso, la experiencia y habilidad del conductor.

El autor Moradi (2019) coincide con el punto de vista adoptado en este estudio: la mayoría de las derivaciones tecnológicas para reducir los costos del transporte en minas proviene de complejos modelados matemáticos por medio de algoritmos o de simulaciones computarizadas. Este es el punto álgido de la cuestión; el hecho de que, la decisión de cambiar el tipo de camiones, o el tipo de flota, adquirir más camiones o reducir su número, cambiar las rutas o cambiar la distribución de los camiones, solo son medidas efectivas cuando han pasado por un adecuado proceso de formulación científica. En otras palabras, la decisión, por ejemplo, de adquirir un nuevo tipo de

camión, será función de algún procedimiento matemático, con confiabilidad por medio de alguna simulación o asistido en el procesamiento de datos por alguna tecnología moderna, como el big data o el machine learning.

No obstante, es normal que se cuestione la funcionalidad de los modelos computarizados, ya que, es posible que los parámetros no se hayan optimizado adecuadamente o que, la data histórica para alimentar el algoritmo no sea lo suficientemente confiable. Sin embargo, la principal limitante de estos métodos es el hecho de que, por alguna razón, no consideren variables importantes para poder discriminar la mejor decisión. De cualquier manera, los estudios revisados con la suficiente rigurosidad especifican que, cuando la simulación se ha realizado adecuadamente, la derivación práctica suele ser bastante confiable. Usualmente no se aceptan resultados por debajo del 90% de eficacia, como se ha mostrado en este estudio.

En la misma línea, Ozdemir y Kumral, (2019) realizaron un estudio en el que buscaron aumentar la productividad de la flota de camiones mediante un modelo de programación en dos fases. Al considerar las palas y los camiones de acarreo, se determinó el objetivo de disminuir los tiempos de espera de las palas, disminuir las colas de camiones y los tiempos muertos. La primera fase de la programación fue dividir los camiones y las palas en subflotas para asignarlas a tareas específicas; la segunda fase, consistió en asignar los camiones a las palas mediante programación lineal. Se tomó en cuenta el factor matemático coincidencia (match factor) para medir la compatibilidad de la flota. El modelo se implementó en una mina, con un incremento del 9.4% en la productividad general y del desempeño del sistema de acarreo.

Por otra parte, Baek y Choi, (2019), utilizaron la tecnología de big data para optimizar operaciones de transporte en minas. Se empleó data histórica de una mina subterránea en Corea del Sur, que consistía en un periodo de tres meses empleando un programa de simulación de eventos discretos para predecir el número de operaciones de transporte, los tiempos de traslados, el nivel de producción y los tiempos de retraso de los camiones. Los resultados se compararon con el desempeño actual de la mina. Para el desempeño general, la diferencia del índice de predicción fue de 30 tn. El modelo es adecuado para la toma de decisiones estratégicas que permita la optimización de las operaciones de transporte en minas subterráneas.

1.1.6 Reducción de costos de transporte

Mejora del proceso logístico para la reducción de costos de transporte

Un análisis comparativo de las investigaciones referidas a la reducción de costos de transporte se consiguió en estudios con premisas similares y otros con oposición o controversia a estas.

Tal es el caso del estudio realizado por Yakovlev et al. (2016) quienes indican que, a menor cantidad de camiones necesarios en las minas, se reduce el consumo de energía en el transporte, en una proporción de 1.5 veces y los costos operativos se reducen en una proporción de 1.2 veces.

Fuqing et al. (2017) coinciden con el estudio anterior, indicando que el modelo exponencial del análisis de Weibull permite estimar la confiabilidad de los camiones por correlación entre carga de trabajo y calendario de trabajo. El análisis permite la toma de decisiones para reducir costos de transporte. Así, Nakousi et al. (2018) señalan que con la implementación de un modelo de programación de enteros mixtos se mejora la toma de decisiones para ahorrar costos de transporte. Mientras tanto, Kumykova y Kumykov (2018) se inclinan por la técnica estadística de Monte Carlo que permite elegir un sistema de producción minero basado en la selección de camiones, optimizando la secuencia de tiempos de carga y descarga, aumentando la productividad y reduciendo costos de transporte por ajuste de la cantidad necesaria de camiones.

Para Oggeri et al. (2019) “una adecuada gestión logística que considere las etapas de transporte, la caracterización de los materiales, la compatibilidad química-ambiental y la organización de las operaciones en el sitio, son fundamentales para reducir costos y aumentar la productividad en minas”. Bakhtavar y Mahmoudi (2018) indicaron que el modelo SBRO es efectivo para la reducción de costos de transporte y aumento de la productividad de la mina.

Krot et al. (2020) indicaron que el empleo de sistemas de monitoreo de ciclos operacionales en camiones mineros funciona con una confiabilidad del 90% y facilita la toma de decisiones para ahorro de costos de transporte. Además, Zhao y Bi (2020) en la misma línea señalan que, el uso del algoritmo modificado Hybrid A para la elaboración de mapeos de rutas más precisos permite ahorrar el costo de transporte entre un 10 y un 20%. Finalmente, se mencionan los señalamientos de Bernardi et al. (2020) los cuales indican que el modelo semimóvil IPCC representa mayores beneficios para la optimización de la mina mientras el volumen del pit va aumentando.

El uso de la tecnología e innovación para la reducción de costos de transporte

En oposición a los mencionados estudios, hay autores que se enfocan más hacia el uso de la tecnología que, al tema de la logística para la reducción de los costos, indicando la necesidad de implementar métodos más novedosos e innovadores que faciliten el transporte del mineral. Bajany et al. (2019) mencionan que “la implementación de un modelo de gestión inteligente que optimice las rutas y los tiempos de carga y descarga de los camiones, aumenta la productividad de la mina y disminuye los costos de transporte”. Asimismo, Terblanche et al. (2019) indicaron que “la tecnología de batería de litio y ferfosfato aplicada en camiones de transporte minero reduce los costes de transporte hasta en un 6.2%”.

Por otro lado, Hajarjian y Osanloo (2020) indican que el modelo matemático lineal es efectivo para elaborar rutas de transporte más inteligentes y reducir costos de transporte. Por su parte, Alla et al. (2020) señalaron que con la implementación de la tecnología como estrategia de Monitoreo en Tiempo Real (RTCM) resultan efectivas para implementar mantenimiento preventivo a los camiones, resultando en ahorro de costos. Además, los autores Kawalec et al. (2020) mencionan que con la implementación de bandas transportadoras regenerativas que utilizan el motor como un generador eléctrico, se pueden ahorrar costos de transporte hasta en un 95%. Finalmente, Moradi Afrapoli (2019) está a favor del modelo de Programación de Objetivo Múltiple (MOGP) e indica que es eficiente para su aplicación en reducción de costos de transporte y optimización del tiempo.

En lo que respecta a las ventajas que ofrece el uso de la tecnología (camiones eléctricos, big data, tecnología sostenible), diversos autores coinciden que con esta aplicación la mejora de la productividad es evidente. Peña et al. (2019) destacan que, aunque existe una tendencia al mejoramiento de tecnologías de camiones basados en diésel, las recomendaciones se centran en camiones autónomos con IA o camiones eléctricos. Ozdemir y Kumral (2019) indican que el empleo del factor de coincidencia fue eficiente para mejorar la productividad de la mina en su sistema de transporte.

Baek y Choi (2019) puntualizan que con el uso del big data en sistema de gestión de seguridad de minas ICT permite una predicción precisa de las operaciones de transporte que facilitan la toma de decisiones para aumentar la productividad general. Para Anderhofstadt y Spinler (2020) “una tendencia cada vez mayor en el uso de camiones eléctricos para las operaciones de transporte es fundamental para superar los retos de la minería en la actualidad”. Finalmente, Holguín y Veras et al. (2021) están a favor de que la tecnología sostenible, más inteligente y eficiente es la tendencia principal en decisiones de alto impacto económico y ahorro energético.

De acuerdo a las posturas estudiadas por los citados autores, se concluye, para lograr la reducción de costos de transporte en minas y aumentar la productividad de este, los autores han propuesto diversas soluciones. Algunas son basadas en modelos matemáticos que facilitan la toma de decisiones respecto de la ubicación de la maquinaria, los camiones, los tiempos de despacho y las mejores rutas. Otras, se centran en la implementación de tecnologías como las fajas transportadoras, que pueden ayudar a reducir la carga de trabajo en los camiones de acarreo. Además, las nuevas tecnologías con apoyo en inteligencia artificial y big data, han permitido la instalación de sensores que pueden monitorear el desempeño en tiempo real de los camiones, para implementar medidas correctivas de inmediato, e incluso, planificar los esquemas de mantenimiento de una forma más inteligente.

Por otra parte, la implementación de mejores camiones; por ejemplo, los impulsados por baterías de litio-ferrofosfato, han demostrado ser más eficientes y con un consumo menor de combustible. En la misma línea, el despliegue de camiones inteligentes autómatas, resulta ser, no solo una tendencia estacional, debido al contexto pandemia, ya que reduce la presencia humana en la mina, sino que, se trata de una tecnología que, con una adecuada planificación, puede ser la norma en un futuro cercano. La implementación de camiones autómatas requiere de un adecuado análisis que permita determinar que la inversión generará ganancias, además de que, se deben considerar las variables del terreno, el tipo de carga y el tipo de mina. Los sistemas tipo carreta, con motores de generación de energía eléctrica, se encuentran entre las configuraciones más modernas y con mejores resultados.

Los autores han realizado implementaciones tecnológicas que se sustentan en dos perspectivas. La primera consiste en abordajes preventivos, la cual se trata de tecnología de monitoreo y seguimiento para prevenir el desgaste de la maquinaria; la segunda, se trata de la aplicación de inteligencia artificial y tecnología automática. Asimismo, Samatamba et al. (2020) emplea la medición de la efectividad del equipo de minería, en un caso específico, la Mina Subterránea de Chibuluma Sur. En este sentido, utiliza tres indicadores: vida física, vida económica y vida de utilidad. El último de estos indicadores es función de los dos anteriores, ya que, la adecuación de la maquinaria representa una implementación efectiva frente a los equipos desgastados, resultando que, en teoría, estas decisiones deberían venir acompañadas de la generación de utilidad para la mina. El programa permite la predicción efectiva de los ciclos de mantenimiento.

En la misma línea, Krot et al. (2020) implementaron tecnología de monitoreo en camiones de acarreo y de volteo, donde se recopila información continuamente de la presión de los frenos, la caja, la velocidad del camión y las rotaciones del motor. Este, se configuró con un algoritmo programado para detectar anomalías cuando el sensor ha sido afectado o cuando no está disponible. Se estableció su índice de confiabilidad en un 90%. Esto es un adelanto respecto de Samatamba y colaboradores, ya que, la primera instancia es más analítica, mientras que, este aporte se deriva de un enfoque más pragmático y concreto.

Otro autor se instaure en la línea preventiva con aplicaciones tecnológicas, se trata de Alla et al. (2020), quien emplea un modelo de monitoreo continuo -por medio de sensores- en el rendimiento de la flota. En este caso, el programa es asistido por inteligencia artificial y permite un monitoreo constante. El resultado es que el modelo puede encontrar la ciclicidad del rendimiento y, por lo tanto, encontrar esquemas de reparación más efectivos. Esto va en consonancia con Krot y colaboradores, ya que es una manera de mantener la flota activa y en alto rendimiento.

En otra línea más operativa, Terblanche et al. (2019) son partidarios de un enfoque de ahorro energético, consideran las tecnologías de generación de energía por sistemas eléctricos y proponen la aplicación de una batería de litio-ferrofosfato (LiFePO_4) en la que se alcanza una reducción de costo del transporte entre el 1,4 y el 6,2%. Consideran, también, la implementación de sistemas de frenos con generación de energía, aunque tal tecnología no se incluyó en la implementación de su estudio. Esto va en concordancia con lo propuesto por Liimatainen et al., (2019), como parte de los resultados de su investigación comparativa, en la que la implementación de camiones eléctricos parece ser la opción más viable en la actualidad y sobre todo, en el futuro cercano.

Por consiguiente, los autores Cruzat y Valenzuela (2018), llevan la investigación un paso más allá, y plantean, no solo el uso de camiones con implementaciones de suministro eléctrico, sino equipados con tecnología automática, alcanzando una optimización de 44% en velocidad y 16% de reducción del tiempo de recorrido. En este sentido, concuerda con Anderhofstadt y Spinler (2020), quienes indican en los resultados de su estudio que, la implementación de camiones eléctricos en las flotas de los sistemas de transporte pesado, es viable para la optimización del rendimiento general.

Esta postura contrasta con la de autores como Chaowasakoo et al. (2017), quienes indican que ante recesiones económicas, resulta una opción más viable

implementar tecnología auxiliar, como las cintas transportadoras, ya que el costo operativo se incrementa al tener que adquirir camiones eléctricos o modificar su tecnología en el motor o los frenos. No obstante, este punto de vista está centralizado en las operaciones que consisten en la extracción del material del pit de la mina y no, necesariamente, en el despacho de los materiales, aunque es bien conocido que la afectación en algún punto de la cadena terminará por ejercer influencia en el resto del proceso.

Continuando, otro autor que recomienda la implementación de camiones eléctricos es Peña et al. (2019) aunque todavía exista una representación significativa de camiones basados en diésel. El estudio de Peña se centra en metasistemas de ingeniería para proyectar la adopción de tecnología en flotas heterogéneas de camiones. En armonía con estas disquisiciones, Bhoopalam et al. (2018) realiza un estudio en el que propone la implementación de flota de camiones autómatas dispuestos en configuración carreta, uno tras otro, con rutas bien establecidas, lo que viene a confirmar la postura de una serie de autores que disponen lo siguiente: la tecnología automática es un hecho en la actualidad para el transporte de minas y el sistema de carretas suele ser aplicable en casos donde se haya realizado el análisis adecuado, previamente.

Alla et al. (2020); Krot et al. (2020); Samatamba et al. (2020) propugnan la implementación de programas, modelos y estrategias de mantenimiento de la maquinaria, ya sea a través de indicadores de desempeño, como rendimiento, velocidad, entre otros; o a través de tecnología de detección continua por medio de sensores, que envían datos a una computadora entrenada por aprendizaje automatizado para programar esquemas de mantenimiento. Por su parte, Anderhofstadt y Spinler (2020); Cruzat y Valenzuela (2018); Liimatainen et al. (2019); Peña et al. (2019) y Terblanche et al. (2019) son apologistas de la implementación de camiones eléctricos o impulsados con métodos de energía alternativa para generar menor contaminación, en otras palabras, se es amigable con el ambiente y se reducen los impuestos, además se incurre en ahorro de combustible, lo que deriva en ahorro de costos de transporte.

Bhoopalam et al. (2018); Cruzat y Valenzuela (2018); Peña et al. (2019) conocen las bondades de los camiones autómatas, que se desempeñan con software impulsado por machine learning o deep learning y que son capaces de realizar la conducción sin chofer. Estos camiones, además, suelen ser eléctricos y su conducción mejora mientras más data histórica recopilan por sus tareas. Además, son una medida de aplicación de seguridad, ya que reducen la presencia de personal en las minas.

Como conclusión, tanto para la disminución de costos de transporte, como para el aumento de la productividad de este, los autores se inclinan por la siguiente postura: operar según modelos matemáticos basados en inteligencia artificial, técnicas estadísticas avanzadas, o implementación de modelos como el IPCC o el SBRO, ya mencionados, donde se busca una distribución o mejor equilibrio de las operaciones y los recursos disponibles. En general, los autores coinciden en que el modelo IPCC es útil para minas en profundización, pero que, normalmente, es necesario realizar diversos tipos de análisis que consideren variables climatológicas y del terreno. Los mapeos suelen ser útiles para la toma de decisiones.

Por otro lado, las soluciones propuestas al problema del transporte en minas se centran en intervenciones tecnológicas, específicamente. Estas, se apoyan en dos vertientes: las de mantenimiento preventivo, cuyo modelo más estimulado es del monitoreo constante y procesamiento de datos asistido por programas computarizados; y las de implementación de alguna tecnología de asistencia, como la cinta transportadora generadora de energía. Por otra parte, es posible que, uno de los sistemas más fiables y complejos para aumentar la productividad, sea la del uso de camiones de tipo carreta y que posean tecnología automática, ya que los resultados indican que estos sistemas poseen, hoy en día, una alta confiabilidad y rentabilidad.

1.1.7 Maximizar la productividad de la mina con la reducción de los costos de transporte

Ventajas de la reducción de los costos de transporte para la productividad de la mina

En este escenario se presentan los señalamientos de Chaowasakoo et al. (2017), los cuales indican que el factor de relación de coincidencia resulta un indicador fundamental para verificar la eficiencia de la flota. Los métodos heurísticos de despacho de camiones pueden ejercer un impacto positivo en la productividad de las minas. Baek y Choi (2017) en la optimización de las rutas de carga de los camiones se consideran las características de las vías, las distancias, la velocidad y capacidad de los camiones y el tiempo invertido. El modelo resulta apropiado para gestionar el transporte en minas.

Nehring et al. (2018) se pronuncian a favor de la aplicación de sistemas IPCC, indican que este genera menores costos de operatividad (OPEX) implicando un incremento en la productividad de la mina de hasta dos o tres veces. Mnwana y Bowman

(2018) evidenciaron que la mecanización de las minas es fundamental para su sostenibilidad económica. En esta misma línea, Cruzat y Valenzuela (2018) indican que con la aplicación de un modelo de transporte en minas basado en sistema de carreta (Trolley System) en combinación con modelos de camiones eléctricos permiten un ahorro de combustible del 85% y una reducción del tiempo de viaje del 16%.

Asimismo, Bhoopalam et al. (2018) acotaron que el empleo de camiones carreta automatizados significa un aumento en la productividad del transporte y una reducción en los costos de este. Coinciden con los mencionados autores, los señalamientos de Moradi Afrapoli et al. (2019), que sostiene que el modelo de transporte con objetivos múltiples permite la producción eficiente de la mina incluso con una flota 30% por debajo de la cantidad de camiones ideales.

1.2 Marco teórico

1.2.1 Optimización del flujo de transporte de carga en la industria minera

A la industria minera se le exige el cumplimiento de todos los requisitos legales establecidos por el Estado, que a su vez abarcan compromisos de responsabilidad social y ambiental, de seguridad y calidad para poder operar, como es un rubro industrial de muy alta inversión depende en primer orden de cotizaciones de origen internacional de los metales, siendo su más fuerte manera de competitividad la de gestionar adecuadamente sus operaciones, su productividad y su rentabilidad. Especialmente las minerías subterráneas, pues son más complejos que las de cielo abierto, de ahí depende la importancia de la gestión de su productividad, logrando con ello operaciones más eficaces (Bernaola, 2012).

Asimismo, este autor sostiene que son diversos los factores intervinientes en la productividad total de las minas a cielo abierto y subterráneas, por lo que es necesario una adecuada gestión de estos (benchmarking), para lograr la Gestión Total, cuya aplicación y certificación se realiza a través del SGI o Sistema de Gestión Integrado (ISO 9001, ISO 14001 y OSHAS 18001) garantizando una mejora continua de sus operaciones mineras. En las actividades mineras, y, particularmente las de subterráneas, un exceso de transporte y movimientos innecesarios son factores que requieren mayor atención por su incidencia directa en la productividad, lo que su mal manejo genera pérdidas considerables para la empresa.

El transporte de carga se convierte en la base principal en el contexto industrial, abarca la función logística que dinamiza el flujo de los productos, comprende del 40% al 50% de los gastos de logística que tienen muchas empresas. Barrera (2020) define al transporte como la “acción de trasladar productos desde un punto de partida hasta un punto de llegada, comprende un sistema encargado de mover los productos geográficamente dispersos para hacer las entregas a tiempo”. La óptima combinación de volquetes son uno de los problemas que enfrenta el sistema de operaciones de las minas, por lo que la correcta selección minimizará los costos y el tiempo para transportar. Los puntos clave en el acarreo son las distancias de recorrido, las políticas y los parámetros, por lo que el acarreo consiste en trasladar el material desde el yacimiento hasta los posibles destinos (Calua, 2019).

1.2.2 Flujos de transporte en minería (con uso de camiones)

Los problemas que se pueden suscitar en las minas, principalmente en la subterránea son el transporte innecesario de mineral, desmonte por carencia de infraestructuras diseñadas correctamente, transporte innecesario de material para relleno, traslados internos innecesarios, movimientos innecesarios de los equipos, movimientos innecesarios del personal, gasto innecesario de combustible, entre otros. La gestión oportuna de los tiempos permitirá un mayor control de los excesos en transporte, personal y movimientos que generan derroches y pérdidas. Las soluciones de transportes inteligentes se aplican con éxito en las mineras que pueden realizar hasta 500 viajes por día, cargando hasta 300 tn por viaje, lo que equivale aproximadamente a 5 millones de dólares. El proceso de carguío y transporte minero lleva desde el rajo a diferentes puntos a través del sistema de despacho minero (Koscina, 2019).

El uso de camiones en las mineras, principalmente en las subterráneas, está determinado por su gestión, particularmente, por la gestión de combustible, su precio implica un desembolso de alto impacto para las empresas, por lo que, trabajan para su correcto uso, basado en un ahorro máximo para que haya una minimización considerable de sus gastos. Es en este escenario, donde muchas empresas mineras, en un primer orden las de transporte, diseñan programas basados en la gestión del combustible, de una manera estructurada, organizada y supervisada (Villegas, 2017).

Para el autor, este tipo de programas PGC lo define como “método para la gestión y monitoreo del combustible que inicia con su compra y finaliza con su uso”, considerando que es el recurso de mayor importancia, por lo que el control de su consumo se puede orientar en la selección, adquisición, almacenamiento y control. Entre los factores que afectan su consumo están los operadores y vehículos.

Además, Villegas menciona que en lo que corresponde a los camiones, estos son una pieza fundamental en el transporte de minerales, por lo que para este tipo de operaciones, se toman en cuenta características particulares como: especificaciones del vehículo (tipo de combustible que usa, peso, tamaño, especificaciones técnicas de su modelo, especificaciones técnicas referidas a las funciones que debe cumplir), edad (referida al kilometraje por litro y la edad de acuerdo con su modelo), condiciones del vehículo (transmisión, ejes, neumáticos, equipamiento, productos que utiliza como aire acondicionado, lubricantes, equipos telemáticos, entre otros). El mantenimiento de estos se deriva de la función empresarial que controla constantemente las instalaciones, los equipos, el trabajo, las reparaciones y revisiones que den garantía del correcto funcionamiento, continuo y sin interrupciones ni despilfarros, garantizando a su vez un buen estado de conservación.

En todo el ciclo que se cumple en las minas, particularmente en las subterráneas, el acarreo y transporte son las etapas que por lo general son menos eficientes, debido a factores como la selección de los equipos, decisión trascendental dentro del proceso cuyo impacto se presenta de manera directa en la planificación de la mina, que dependen del tipo y del tamaño del equipo, así como de sus tiempos improductivos, y la falta de coordinaciones con los camiones (Anchiraico & Rojas, 2020). Diversos estudios demuestran que los principales problemas en el acarreo y transporte se presentan debido a la deficiente gestión de flotas y del tiempo, presencia de tráfico de vehículos dentro de las minas, generando tiempos muertos, impactando directamente en la productividad.

1.2.3 Camiones de doble tolva

Los camiones comprenden las unidades comúnmente usadas en la explotación minera, son especialmente diseñados para el acarreo de toneladas mayores, con características diseñadas especialmente para el uso en la minería, llegando a movilizar hasta 350 tn por ciclo generando bajo costos de operaciones (Bazán, 2016). Los camiones tipo volquetes se diferencian por realizar una operación sencilla pues su uso está dirigido en recorrer distancias medianas y largas, con capacidades de carga entre 25 a 38 tn como peso más común.

Los camiones doble tolva se caracterizan por tener una caja doble cuyo material de construcción es el acero, con el diseño sencillo permite el máximo aprovechamiento para la carga y descarga, transportar y descargar diversas cantidades de materiales. Poseen sistemas hidráulicos para el movimiento de la caja, pueden ser de forma lateral o vertical el funcionamiento de su sistema hidráulico (Camión directo,

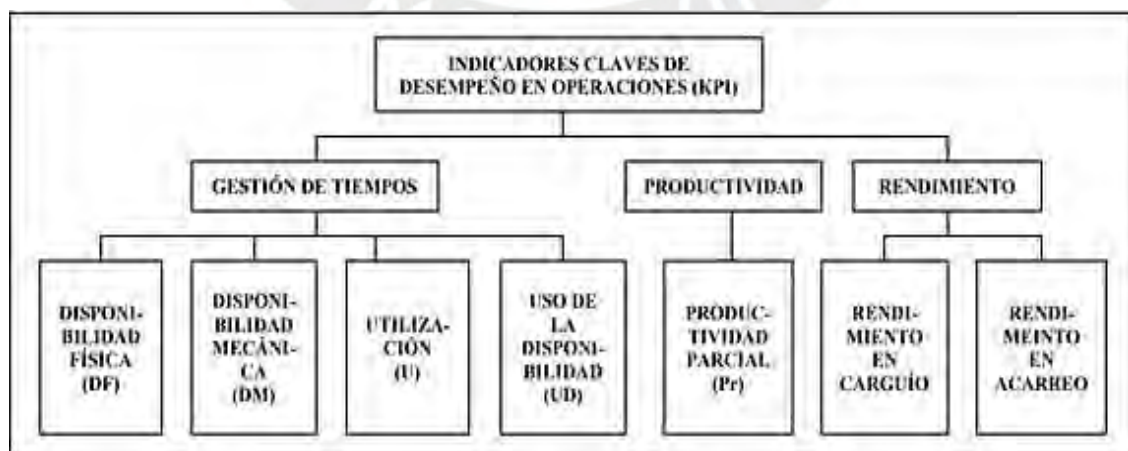
2020). Las tolvas “son los recipientes abiertos que se ubican en la parte superior con la finalidad de recibir la carga de minerales, en algunos casos se ubica encima del chasis que es lo que permite el transporte” (Pol, 2019).

Para este autor, la selección de las tolvas depende del tipo de material y las condiciones en las que se encuentra el camino por donde se va a producir el acarreo. Están diseñadas para soportar grandes pesos, lo que les permite mayor capacidad y duración. Contienen superficies de desgastes resistentes. Se caracterizan por disponer vigas de cinco lados, que aumentan la rigidez y resistencia de la caja. Las nervaduras anchas que contiene el piso elevan la durabilidad y resistencia a los impactos. También contienen vigas de sección que ofrecen mayor durabilidad.

1.2.4 Gestión de tiempos

La gestión de tiempos según Ramírez (2007) son las actividades básicas del proceso productivo centrada en el aprovechamiento del tiempo para las actividades productivas. Su uso racional es importante debido a que se puede utilizar eficientemente para crear un bien que posteriormente tendrá un valor. Gestionar el tiempo implica el empleo eficiente de una jornada de trabajo para la ejecución de actividades productivas, para un mejor uso del tiempo. Comprende la sincronización del trabajo en todos sus componentes: operadores, tiempo de trabajo y maquinaria, donde el operario manipula la máquina para realizar la actividad. Según el autor, comprende dos sistemas: el de distribución del tiempo del trabajador con relación al proceso productivo, y el sistema de distribución del tiempo con relación a la maquinaria.

Figura 1. Indicadores de desempeño

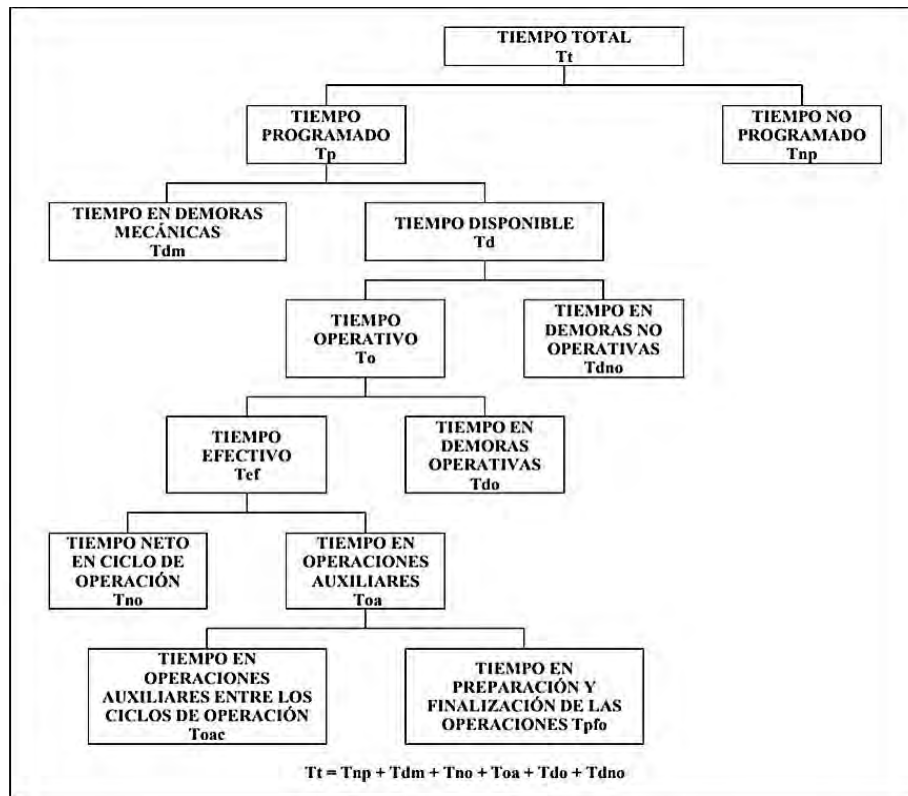


Fuente: Ramírez, 2007.

Sistema de gestión del tiempo

El sistema de gestión del tiempo comprende en sí la correcta administración del tiempo, abarcando a las actividades productivas y a los componentes del tiempo total para aprovecharlo de una manera más racional por medio de la distribución del tiempo.

Figura 2. Distribución del tiempo total



Fuente: Ramírez, 2007.

El tiempo total, lo define Ramírez, como el tiempo con referencia en el calendario observable en rangos de 24 horas, 30 o 31 días, y 12 meses del año. Lo conforman dos componentes: el tiempo programado y el no programado. El tiempo programado se separa para actividades de producción o de mantenimiento preventivo o correctivo, siendo que el trabajo se realice o no dentro de la jornada para las operaciones o fuera de ellas. Hablar de tiempo programado implica al que se destina solo para la actividad productiva. Las actividades realizadas fuera de las jornadas productivas no cuentan. También es oportuno considerar la disponibilidad mecánica, pese a que no representa la disponibilidad mecánica, se estima a través de la disponibilidad mecánica por costos por actividades. La gestión del tiempo total es la administración de actividades que emplean maquinaria y equipo minero, para ser usado

en diferentes etapas y momentos. Finalmente, el tiempo no programado implica el tiempo donde la maquinaria puede estar paralizada.

$$T_t = TP + T_{np}$$

Donde:

Tt: Tiempo total

Tp: Tiempo programado

Tnp: Tiempo no programado

Figura 3. Distribución del tiempo total

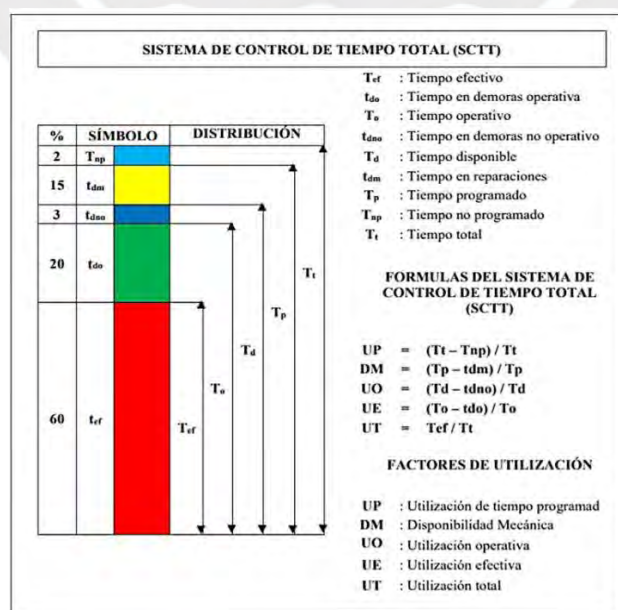
| TIEMPO TOTAL (Tt) | | | | | |
|------------------------|-------------------------------|-----------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|
| TIEMPO PROGRAMADO (Tp) | | | | TIEMPO NO PROGRAMADO (Tnp) | |
| TIEMPO EFECTIVO (Tef) | DEMORAS NO PLANIFICADAS (Dnp) | | DEMORAS PLANIFICADAS (Dp) | | DEMORAS NO OPERATIVAS (Tdno) |
| | Operativas | Mecánicas | Operativas | Mecánicas | |

Fuente: Ramírez, 2007.

Sistema de control de tiempo.

Este mismo autor indica que un sistema de control de tiempo clasifica el tiempo de acuerdo con el calendario y a las actividades por realizar inherentes al proceso productivo, ofreciendo como ventaja una eficaz herramienta para evaluar los indicadores KPI de eficiencia y rendimiento por equipo o de una flota en general que abarque diferentes tipos de equipos.

Figura 4. Distribución del tiempo total



Fuente: Ramírez, 2007.

1.2.5 Indicadores clave de desempeño (KPI)

Bernaola (2012) los define como “herramientas de medición del desempeño, usadas para la medición y evaluación de los procesos con la finalidad de ser gestionados eficientemente”. Las organizaciones los usan para conseguir objetivos y metas propuestas. Son de carácter cualitativo o cuantitativo, esto lo define la intención y los tipos de KPI que el gestor haya seleccionado, cuando es cuantitativo evalúa numéricamente los procesos, y cuando es cualitativo evalúa las cualidades de la calidad de las acciones que se viene ejecutando. También, se presentan como herramientas de gran alcance cuyos indicadores también pueden servir de vínculo comunicacional en toda organización, con el que el recurso humano se comunica a través de los diferentes niveles jerárquicos.

Para Gaete (2019) los KPI sirven para corroborar el logro de los objetivos en la empresa, lo utilizan principalmente los gerentes, los cuales comunican los resultados obtenidos al resto del equipo. Con los KPI se concientiza al equipo sobre la misión de la empresa, cuantificando su desempeño y la contribución de sus actividades a la empresa. Además, con estos se detectan las fallas y debilidades que merecen pronta atención. Resultan métricas eficientes a través de resultados medibles.

Para este autor los tipos de KPI son:

1. **Logro:** indica el desempeño a alcanzar o superar el objetivo, siendo valioso, pero no requerido.
2. **Reducción:** indica el desempeño a alcanzar o estar por debajo del objetivo, siendo valioso, pero no requerido.
3. **Absoluto:** el desempeño debe igualar al objetivo, por lo que si no se alcanza es malo.
4. **Mínimo/ Máximo:** el desempeño se ubica en rangos específicos con valores determinados. Lo que esté fuera de los rangos asignados son malos.
5. **Cero:** el desempeño se ubica en cero.

Asimismo, Gaete menciona las siguientes características de los KPI:

- Son escasos, los KPI deben ser pocos en cantidad, el hecho de que se establezcan muchos no son indicativos de que causarán gran impacto.
- Profundizan, con los KPI se pueden profundizar detalles en relación para lo que fueron creados.
- Simples, son sencillos de entender, sus mediciones son sencillas y comprensibles.

- Procesables, el usuario sabe cómo puede afectar o no.
- Referenciados, el usuario puede trabajar en base a contextos.

La interpretación de los KPI debe ser fácil de analizar, de manera sencilla el usuario interpreta lo obtenido diferenciando el estado de lo que esté en revisión que puede ser bueno o malo. Se deben definir previamente atributos para facilitar la interpretación y el análisis. Para el análisis se debe verificar:

1. Estado
2. Tendencia
3. Desempeño
4. Nombre del KPI
5. Valor del KPI
6. Objetivo
7. Varianza
8. Establecimiento del tablero táctico

Para el área de carguío y transporte, se diseñan los KPI que indiquen el comportamiento de los operadores de carguío, para identificar la mejora en la productividad. Para el presente estudio se tiene previsto mencionar los KPI relacionados directamente con los ciclos de carguío y transporte y la medición de la mina, por lo que se considerarán: tiempo de carguío, rendimiento efectivo, tiempo de acaloramiento y la velocidad.

CAPÍTULO II. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

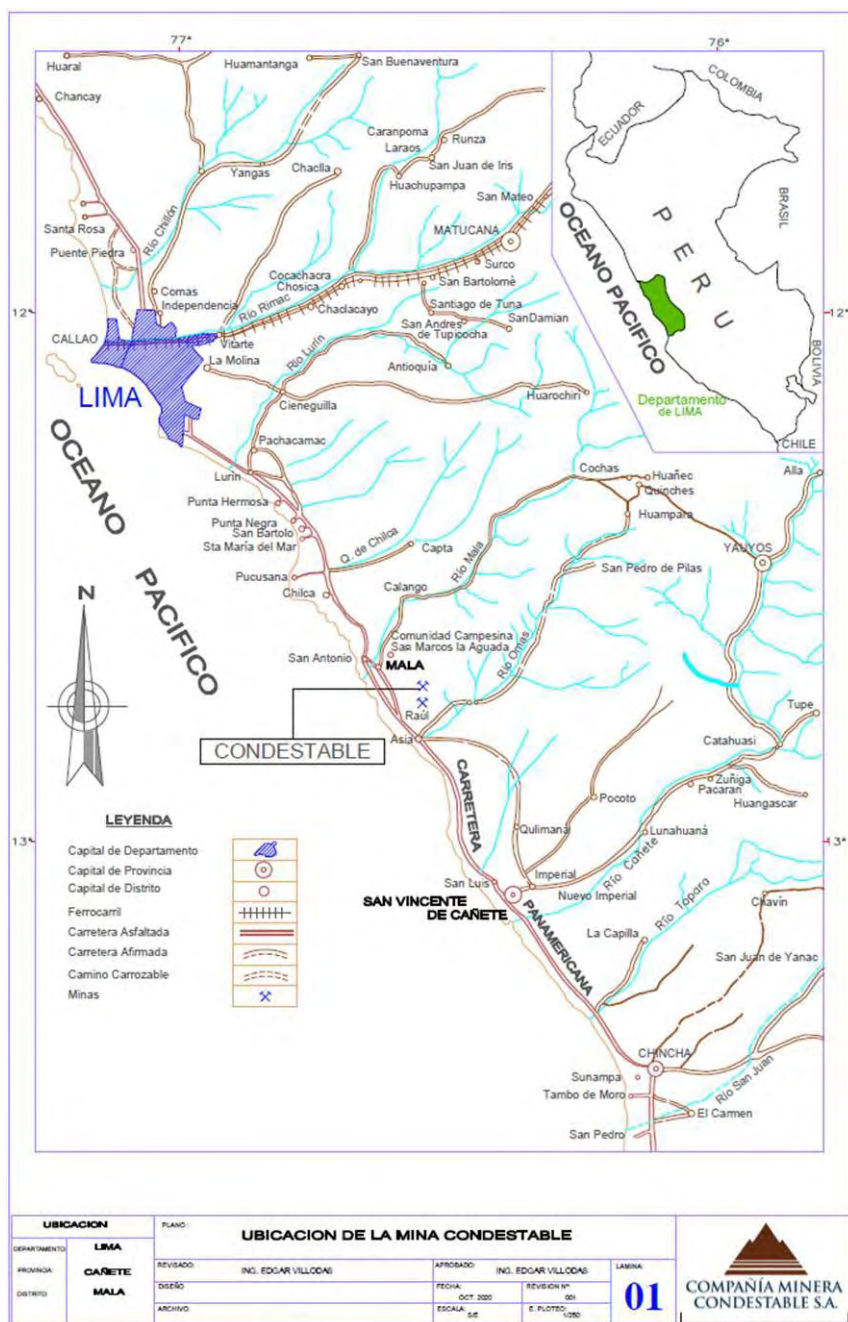
2.1 Características generales de la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021

La Compañía Minera Condestable, es una empresa dedicada al procesamiento y venta de concentrados de cobre, con contenidos de oro y plata, que se obtienen a través de la explotación de sus yacimientos. Se constituyó el 14 de noviembre de 1962 y está ubicada en el distrito de Mala, provincia de Cañete, departamento de Lima, mientras, que, su acceso es a través de la Autopista Lima – Mala hasta 90 Km, Trocha afirmada 5 Km. En el año 1961, se contrata a la Nippon Mining Company, para que realice el reconocimiento geológico en Condestable, una vez avalada la información, en 1962 se constituye la compañía, iniciando la explotación del yacimiento en 1964, para entonces, se produjo 600 t/día (De Haller & Fontboté, 2019).

En el año 1976, la compañía Nippon Mining Company cede su participación en Condestable al Gobierno del Perú, a cambio de que le cancelen sus pasivos laborales. Formalmente, en 1977 se realizan los trabajos de desbroce para el minado del tajo abierto, a través del método convencional por cámaras y pilares. En 1992 la compañía fue privatizada por el Grupo Serfin-Cormin; para el año 1997 entran dos nuevos accionistas: Trafigura Beheer B.V., con una participación del 30,6% de las acciones y LG Metals de Corea, con un 20% del capital, ambos financiamientos se realizan con la intención de llevar a cabo un intenso programa de exploración; sin embargo, para mediados de 1998 finaliza sin resultados significativos (Morgenroth et al. 2019).

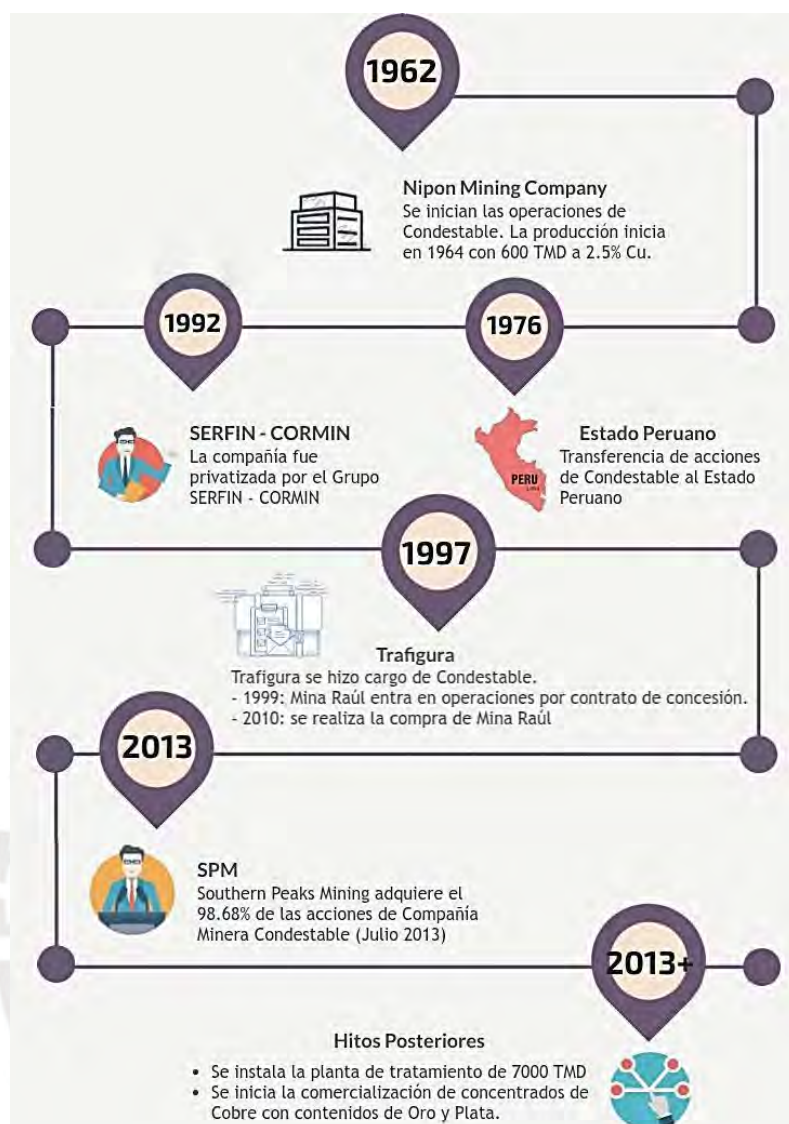
A finales del año 1999, en octubre, se firma un contrato de cesión minera con Cía. Minera Pativilca, en el cual se adquieren derechos sobre la colindante mina Raúl, allí se inicia su rehabilitación, de manera inmediata, debido a que se encontraba paralizada hacía un año, por sus propietarios y, por último, en el año 2010, se realiza la compra de la mina (Potey & Sinha, 2017). Finalmente, en julio del año 2013, Southern Peaks Mining adquiere el 98,68% de las acciones de la compañía minera Condestable, quienes se mantienen hasta la actualidad.

Figura 5. Mapa Ubicación Cía. Minera Condestable S.A.



Fuente: Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 6. Línea de Tiempo - CMC



Fuente: Penadillo, (2021)

La geología del yacimiento, se encuentra sobre uno denominado Iron Oxide Copper and Gold (IOCG), o lo que es lo mismo, asociación de óxidos de hierro con sulfuros de cobre y oro, el cual manifiesta una mineralización muy compleja, entre ellas, puede presentarse como mineral de alteración alcalino cálcica e inclusiones variables de clinoanfíboles férricos y/o hedenbergita, albita, feldespato K o biotita, o como rocas magmáticas de composición diversa, también contiene elementos como U, tierras raras, Co, Ni o Mo y elementos volátiles como P, F o B y por último, como mineral de magnetita apatito, óxidos de hierro (cobre-oro) y cobre-oro pobres en óxidos de Fe (Tornos et al. 2018). Se desglosan los siguientes rubros:

- Rasgos fisiográficos: la altura más alta de la franja de la costa peruana, ubicación del yacimiento, es de 400 m.s.n.m. y la más bajas 80 m.s.n.m.; su clima es típico de la costa peruana, el cual se caracteriza por ser cálido y húmedo en verano, propiciando el desarrollo de las lomas, además, este clima ocasiona una rápida corrosión a los equipos metálicos, debido a la fuerte brisa por su proximidad al mar. La geomorfología de la mina se divide en dos extensiones, la primera se caracteriza por la acumulación de material detrítico, que se consolidó de cauces y quebradas, actualmente secas y rellenas por dicho material, la segunda son estribaciones bajas del flanco occidental del Batolito Costanero, que se caracteriza por la exposición de cerros de flancos empinados, de sólida estructura rocosa graníticas y volcánica sedimentarias, los cuales se forman en mayor cantidad hacia el este del yacimiento.
- Geología regional: se identifica por contener formación Asia, Pucusana, Pamplona, Atocongo, Chilca, en sus columnas volcánico-sedimentaria, en consecuencia, su estructura se encuentra muy disturbada.
- Geología local: Está cubierta, casi en su totalidad, por rocas volcánico-sedimentarias, ubicadas en un espacio marino de aguas poco profundas, el restante del área de las concesiones está compuesta por rocas ígneas intrusivas, características del Batolito de la costa peruana.

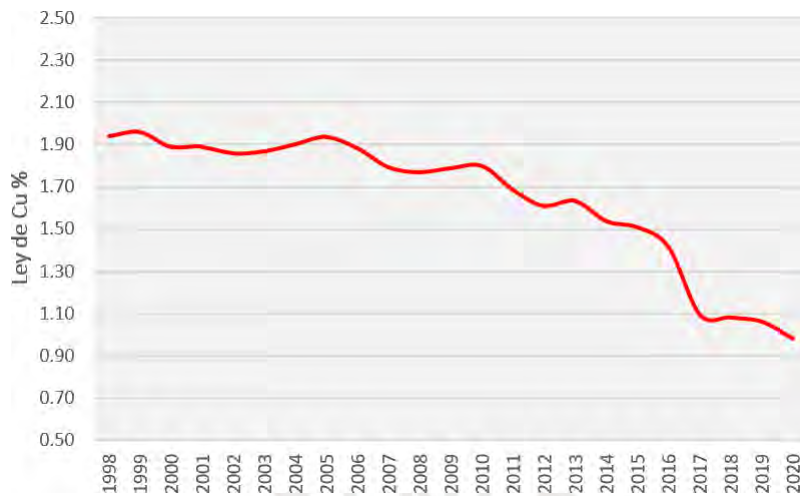
Asimismo, los recursos minerales de CMC medidos e indicados, estimados diciembre del 2019 ascienden a 30,392,657 tn con una ley promedio de 0.96% Cu. Cabe mencionar que a medida que ha pasado el tiempo las leyes de los recursos del yacimiento han ido empobreciendo, afectando la rentabilidad de la empresa.

Tabla 1. Recursos Minerales CMC

| Recursos Minerales CMC | | |
|-------------------------------|----------------------|-------------------|
| Certeza | Toneladas (t) | Ley Cu (%) |
| Medido | 22,622,067 | 0.92 |
| Indicado | 7,770,590 | 1.08 |
| Total | 30,392,657 | 0.96 |

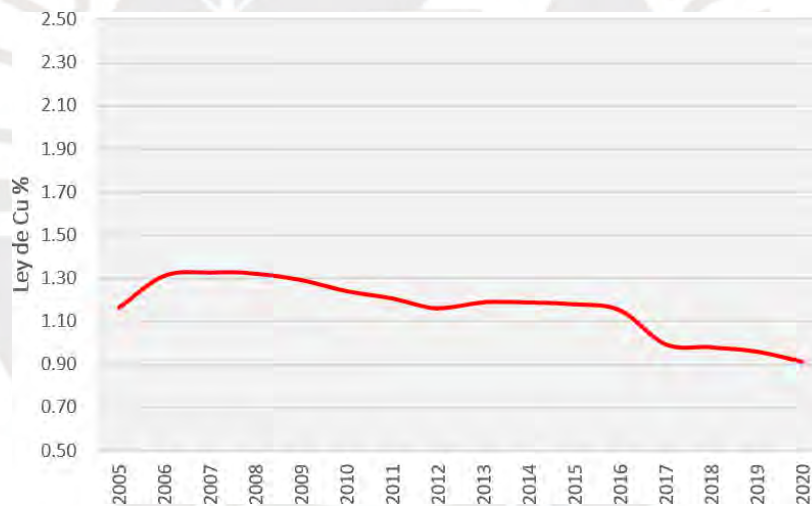
Fuente: Bisa. (2021)

Figura 7. Ley de cobre en los recursos, Mina Raúl



Fuente: Área Geología, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 8. Ley de cobre en los recursos, Mina Condestable



Fuente: Área Geología, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

El proceso productivo, consiste en la flotación de mineral en su propia planta concentradora, la cual sostiene una capacidad instalada de 7000 toneladas por día, con una proyección de 8400 TPD; por lo tanto, tuvo una producción diaria de 6000 TPD, en el año 2019, para el 2020 manifestó un total diario de producción por 7000 TPD, la proyección para este año en curso, 2021, considera una estimación de aumento progresivo para poder alcanzar el tope de 8400 TPD, de producción diaria. Se concluye, entonces, que el ciclo de vida del cobre se encuentra, aún, en etapa de crecimiento.

En términos generales, según (Ingeniería y construcción, 2020) el proceso productivo del cobre se ejecuta en cinco fases:

- a) Minas: contienen el mineral a extraer bien sea por extracción de cielo abierto o subterráneos.
- b) Concentradoras: una vez extraído el mineral, se traslada a los concentrados para ser sometidos a los procesos de chancado, molienda y flotación.
- c) Fundición: es una etapa que consiste en utilizar ánodo (electrodo que ocasiona reacción de oxidación) y ácido sulfúrico en el cobre de alta pureza.
- d) Refinería: este proceso se da en paralelo a la fundición, en el cual, los ánodos de fundición se someten a un proceso electrolítico, y son transformados en cátodos de cobre de aproximadamente 99.99% de pureza.
- e) Comercialización: el mineral resultante de la refinería, llamados ánodos, se exportan a las partes interesadas, a nivel nacional e internacional.

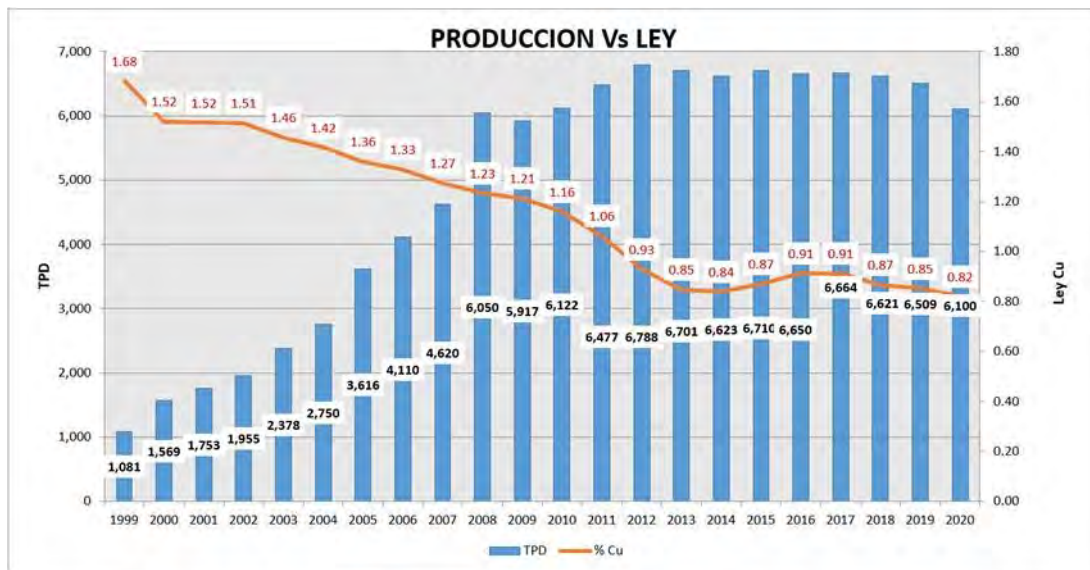
Figura 9. Evolución de tratamiento de toneladas por día



Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Como se puede apreciar en la Figura 8, es evidente que a medida que pasa el tiempo las leyes de explotación tienen a disminuir, esto producto a las características propias del yacimiento, Esto obliga a la empresa a buscar ser más eficientes en la administración de sus recursos e indagar mejoras en la reducción de sus costos.

Figura 10. Producción vs. ley



Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

De acuerdo con las características del macizo rocoso y condiciones geométricas de las estructuras mineralizadas en mina Condestable se viene explotando en minería subterránea mediante tres métodos de explotación:

La minería subterránea consiste en la explotación de recursos que se encuentran debajo de la superficie de la tierra, esta se implementa cuando la explotación de los minerales a cielo abierto no es elocuente ni productiva o por cuidados ambientales, además, cuando se está en presencia comprobada, de estructuras que contienen minerales en su profundidad; entonces, generalmente, se ocasiona para los casos de minería en roca blanda (carbón, potasio y sales) y en roca dura (cobre, zinc, oro, cromita, uranio y elementos de platino) (Haldar, 2018). Al comparar el impacto ambiental entre los dos métodos de explotación, el superficial y el subterráneo, según Nelson (2017), este último es ventajoso en términos ambientales, puesto que, produce menor cantidad de desmonte.

Asimismo, el método de explotación va de acuerdo con la estructura de la mina, su tamaño, la orientación, la consistencia de la roca y el beneficio esperado de la producción. Se conocía hasta finales del año 2019, el método Sub Level Stoping por subniveles, popularmente como “taladros largos”. Este era el método principal para la explotación mecanizada en Condestable, mientras que existen los métodos

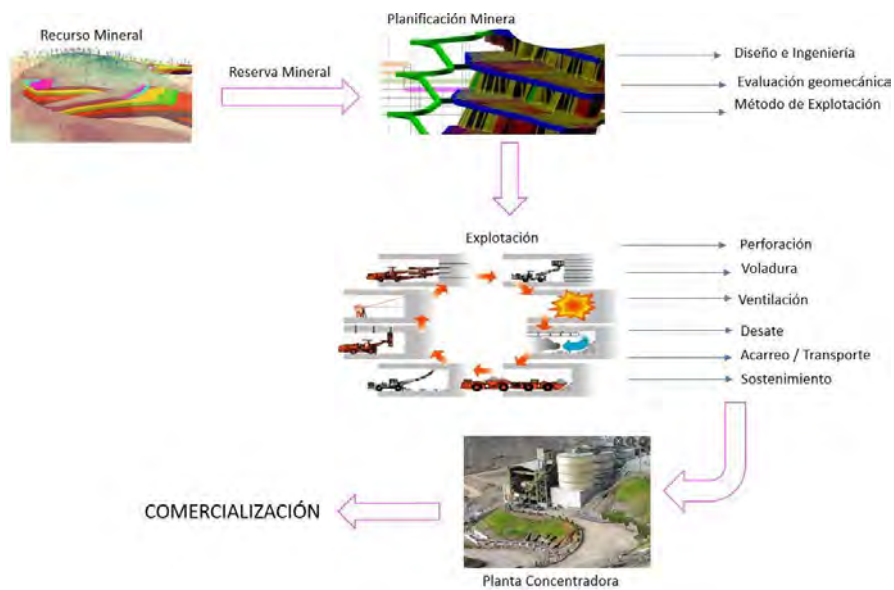
convencionales como *Shrinkage* y cámaras y pilares; sin embargo, a inicios del 2020 se utiliza el método SLS, para la explotación de tajos (Zong-Xian, 2017).

El autor señala que el método de cámaras y pilares, es un método semimecanizado, en el cual se lleva a cabo la perforación a través de Jackleg, mientras que el carguío y acarreo a través de Scoops de 4 a 6 yd³; el método de *Shrinkage*, también es semimecanizado. Por lo tanto, se utilizan los mismos métodos que el anterior para la perforación, el carguío y el acarreo, pero se diferencian en que este es para vetas o mantos de más de 0,80 m con buzamiento mayor a 60°, mientras que, el de cámaras y pilares para mantos y brechas de potencia mayor a 1.20 m y buzamiento subhorizontal de más de 20°.

La explotación de la Mina Condestable extraída en el año 2019, fue a través del método de tajos, unos convencionales y otros mecanizados (sub level stoping), con una representación del 82% de total de explotación, mientras que, el restante 18% perteneció al aporte de preparaciones (llamado mineral de avances) y canchas; por lo tanto, el ciclo de producción en la CMC, inicia con el sostenimiento -de ser necesario se realiza el sostenimiento- utilizando un equipo empernador, malla, shotcrete o el considerado por la revisión geomecánica, es importante destacar, que previa a la perforación se debe realizar el desatado de rocas (Henning & Mitri, 2017, p. 692).

Asimismo, la siguiente fase, es la perforación, seguida por la voladura, la ventilación el carguío y el transporte, todas se efectúan en tajos convencionales y mecanizados; por otro lado, para el modelamiento de tajos, el geólogo mide el yacimiento y los recursos, información necesaria para el Área de Planeamiento, quienes se encargan de analizar las reservas, realizar el análisis geométrico, geomecánico, económico y operativo. En paralelo, para la extracción del tajo, se analizan las reservas y se preparan las actividades, así como, se analizan los costos, es decir, se planifican todas las acciones, porque de ello depende la rentabilidad de la operación minera.

Figura 11. Ciclo de extracción del mineral



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, otra problemática que viene atravesando la empresa es la reducción del volumen de las estructuras mineralizadas trayendo como consecuencias el incremento en el número de tajos. Esto da como consecuencia el incremento del costo operativo dado que se tiene que realizar más preparaciones para extraer la misma cantidad de mineral. Según reporte de la empresa, para el año 2018 se tenía 63 tajos de explotación con el método sub level stoping; sin embargo, por la reducción del volumen de las estructuras mineralizadas estos se han incrementado a través de los años y se estima para el año 2022 (según las metafísicas 2022) un número de 118 tajos.

Tabla 2. Número de tajos (2018-2022)

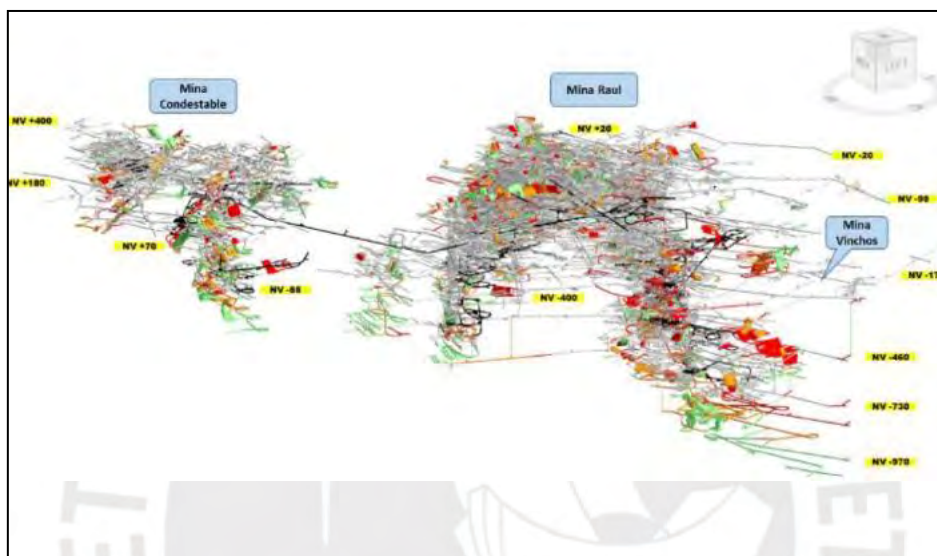
| Método de Explotación | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|
| Total Sub Level Stopping TL | 63 | 95 | 82 | 102 | 118 |
| Total Shrinkage | 3 | 3 | | | |
| Total Camaras y Pilares | 4 | 3 | 1 | 4 | 4 |

Fuente: Elaboración propia

Para los costos de Operaciones Mina se ha incrementado debido a los factores como yacimiento, ya que la ubicación del mineral se encuentra en niveles profundos (características del tipo de depósito IOCG), entonces las distancias para la extracción

del mineral se incrementan, así también el incremento por sostenimiento debido a las condiciones del terreno y otras a causa de la voladura. De acuerdo con la ubicación de las estructuras mineralizadas estas se encuentran a niveles cada vez más profundos, incrementando el costo en el ciclo de transportes. Según las reservas de la Mina Condestable para los niveles de mayor profundidad entre el nv-460 y nv-880 se tiene un estimado de un 37% del total de las reservas.

Figura 12. Ubicación de las estructuras mineralizadas



Fuente: Área de Planeamiento, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Tabla 3. Número de tajos (2018-2022) Distribución de las reservas CMC según ubicación por niveles

| | | Total tn | % |
|--------------|------------------|-------------------|-------------|
| Condestable | | 3,807,046 | 14% |
| Raúl | nv+195 - nv -255 | 9,616,386 | 34% |
| Raúl | nv-300 - nv-400 | 4,035,946 | 14% |
| Raúl | nv-460 - nv-580 | 4,870,674 | 17% |
| Raúl | nv-610 - nv-880 | 5,591,645 | 20% |
| Total | | 27,921,696 | 100% |

Fuente: Bisa. (2021)

Según el cálculo de las reservas, se ha realizado el LOM, tomando en cuenta la capacidad de la planta, dando como resultado una vida útil de la mina de 9 años (LOM), distribuidos de la siguiente manera:

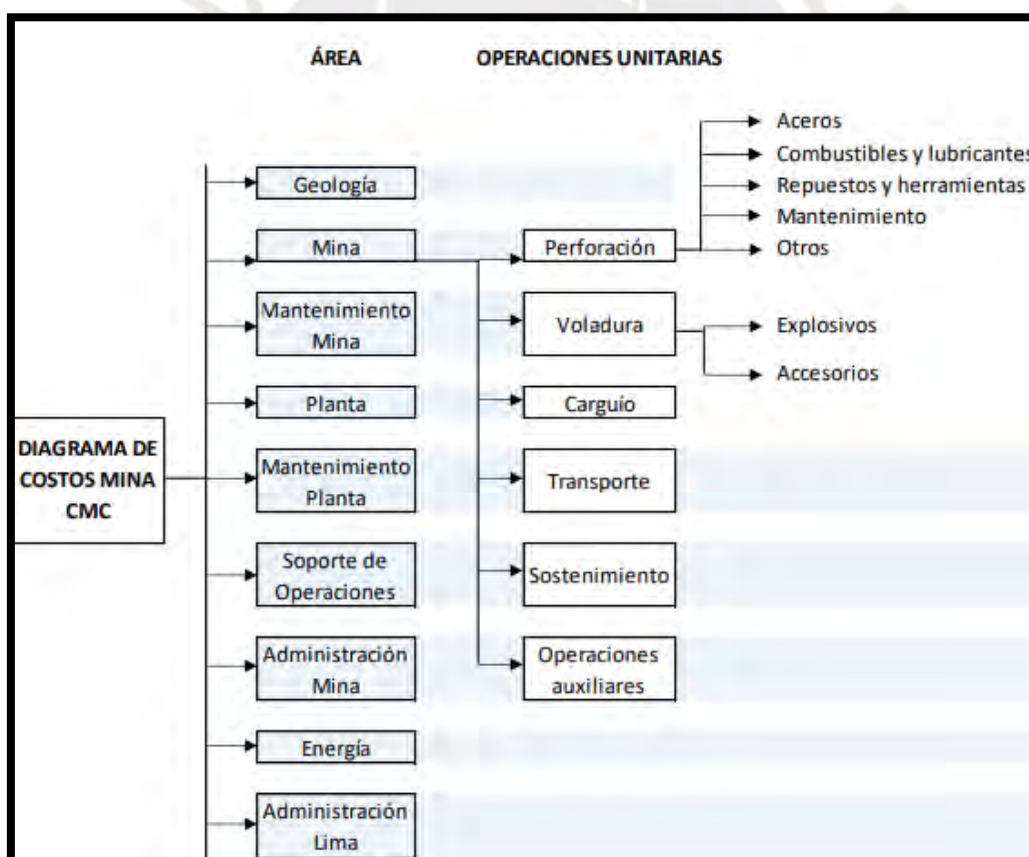
Tabla 4. LOM 2021-2022, según reservas

| | | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | Total |
|-------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Condestable | | 769,371 | 910,769 | 1,053,771 | 772,813 | 300,322 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,807,046 |
| Raúl | nv+195- nv-255 | 334,951 | 834,370 | 526,057 | 1,139,040 | 1,545,499 | 1,594,301 | 1,346,586 | 1,291,820 | 1,003,762 | 9,616,386 |
| Raúl | nv-300 - nv-400 | 310,176 | 211,393 | 391,297 | 456,014 | 422,312 | 506,437 | 417,736 | 935,316 | 385,264 | 4,035,946 |
| Raúl | nv-460 - nv-580 | 726,966 | 582,817 | 626,175 | 408,287 | 572,233 | 483,942 | 581,248 | 525,462 | 363,544 | 4,870,674 |
| Raúl | nv-610 - nv-880 | 81,133 | 62,956 | 501,189 | 733,857 | 659,130 | 915,278 | 1,154,475 | 757,703 | 725,924 | 5,591,645 |
| Total | | 2,222,598 | 2,602,306 | 3,098,489 | 3,510,011 | 3,499,496 | 3,499,958 | 3,500,046 | 3,510,300 | 2,478,494 | 27,921,696 |

Fuente: Bisa. (2021)

Una vez expuesto el ciclo de producción, se explican los costos de producción, en tanto, la planificación de los costos en Mina Condestable, consiste en la evaluación del impacto económico sobre los costos asociados a las actividades individuales, a continuación, se presenta el diagrama de los costos existentes en CMC:

Figura 13. Diagrama de Costos CMC (Desglose, Perforación y Voladura)



Fuente: Área de Costos, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021).

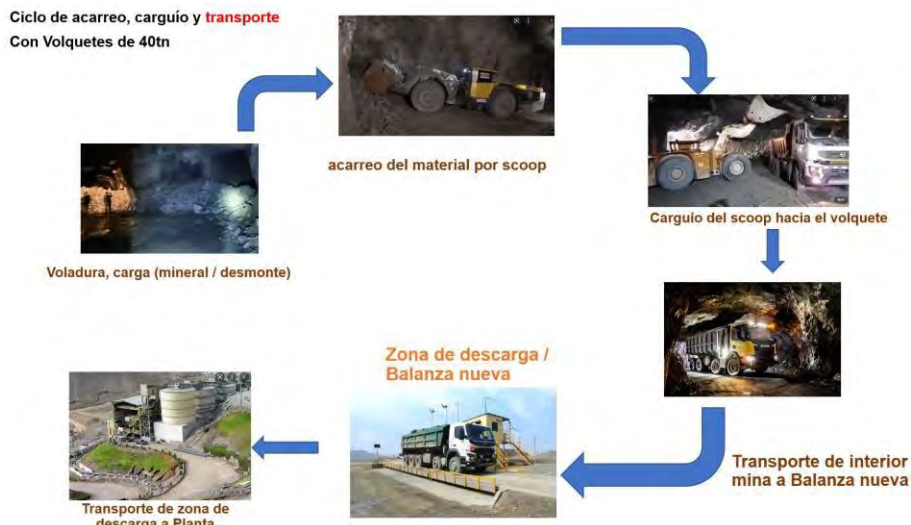
Si bien para el año 2021 se ha tenido una ligera disminución de los costos, esto se debe a las paralizaciones de actividades en el proceso a causa de la pandemia de la COVID-19, para el 2021 se tiene un promedio de 32.33 U\$/tn.

Para las operaciones de carguío de scooptram de 4 yd³ y 6 yd³, se utilizan equipos de modelos R1600G, marca Caterpillar, se caracterizan por tener un motor de alta potencia, controles electrónicos e hidráulicos en su cabina, que requiere menor esfuerzo de su operador, por lo que, proporcionan una mayor productividad. La empresa, posee 8 unidades, siendo 2 scoops de 4 yd³ y 6 unidades de 6 yd³, para el desarrollo de todas sus operaciones, relativas a la preparación y explotación, que se llevan a cabo, a través, de dos métodos, convencionales y mecanizados.

Para realizar las estimaciones del rendimiento de estos equipos, se debe considerar la disponibilidad, su utilización, y el rendimiento en toneladas métricas por horas trabajadas, las mismas que fueron consideradas para determinar el rendimiento de los scoops de la empresa, en los años desde 2016 al 2020, en los que se obtuvo, que se utilizaron en el 2019, en mayor proporción los equipos de 4 yd³, las unidades utilizadas fueron el C415 y el C431, de ellos se obtuvo un rendimiento de 52 tn/hr y 71 tn/hr, respectivamente. Por otro lado, las 6 unidades disponibles de 6 yd³, son el C606, C625, C626, C627, C629 y C630, estos equipos están dispuestos para las actividades que se realizan por el método de minado sublevel stoping, de estas se obtuvo un rendimiento de 109 tn/hr, 79 tn/hr, 107 t/h, 113 tn/hr, 125 tn/hr y 137 tn/hr respectivamente; mientras, que la unidad C625, es la que presenta el menor valor de disponibilidad, con una representación del 71%, por el contrario la C630 es la de mayor disponibilidad con una representación del 85%.

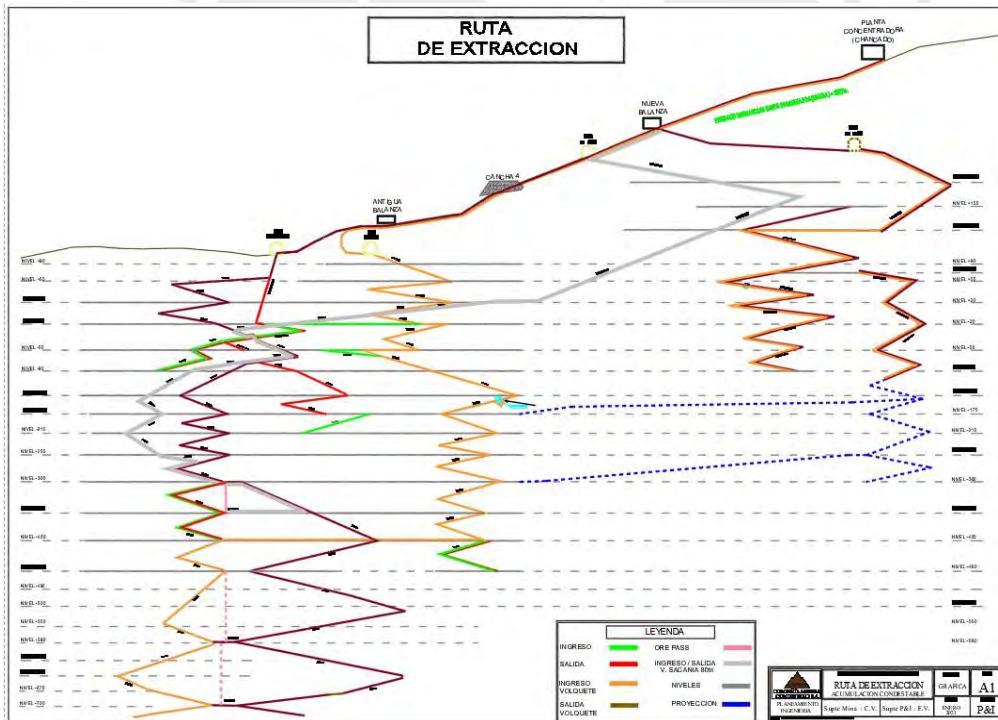
El transporte se lleva a cabo a través de volquetes de 45 tn y 35 tn, los cuales trasladan material desde la parte interna de la mina hacia el lugar de destino. Para el traslado de mineral de avances y tajos convencionales son utilizados los volquetes de 35 tn, mientras que la flota de 45 tn es utilizado para el transporte de mineral que proviene de tajos explotados por sublevel stoping. La ruta de transporte inicia por la rampa fico, rampa 63, rampa 81, rampa 79 llegando hasta la parte intermedia de Raúl y luego la rampa 78 que llega la zona de profundización de la mina. Una vez abastecido, el volquete toma la ruta de salida que empieza en la rampa 88, luego por la rampa 78, continua con la rampa 74, rampa 73, hasta llegar a la rampa principal que lleva a superficie para luego trasladarse hasta nueva balanza y finalmente descargar en la parrilla de chancado de planta concentradora. Cabe mencionar que la ruta de ingreso y de salida es tanto para la flota de 35 tn y 45 tn. En cuanto al desmonte, se traslada desde las labores de avance (preparaciones) hacia los tajos vacíos. Cabe precisar, que este material de desmonte es utilizado como material de relleno para mantener la estabilidad de los tajos explotados, formando taludes.

Figura 14. Ciclo de transporte actual con volquetes de 45 tn



Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Ruta de Ingreso y salida para la flota de volquetes 35 tn y 40 tn.



Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Los rubros más influyentes en las estimaciones de los costos de transporte son las llantas, el mantenimiento, los combustibles, lubricantes y el salario del operador; sin

embargo, para poder discernir sobre la productividad del vehículo, se debe conocer previamente, las velocidades mínimas y máximas con carga y sin carga, es decir su rendimiento. Entrando en materia de interés, el servicio de acarreo, transporte y desmante de mineral, en la Mina Condestable, se encuentra tercerizado, para ello, la compañía tiene un contrato con CN SAC, las mismas, poseen unidades de modelo Scania 8 x 4, con una capacidad de 20 m³, Volvo 10 x 6 (35 toneladas) y Volvo 8 x 4 (45 toneladas), los camiones nuevos reemplazan camiones dadas de baja que también son alquilados (no son de la empresa por lo que no se van a vender). Además, para el traslado de mineral y desmante cuenta con los servicios de Opermin, Cominco y Acoinsa, pero en menor proporción con el uso de volquetes.

Las características actuales de la ubicación de carguío de la Compañía Minera Condestable, se consideran las distintas rutas que recorre el transporte, se diferencia en subidas y bajadas, porque de ello depende el consumo de tiempo y combustible, así como, se consideran la distancia, velocidad, gradiente y el tonelaje, siendo las variables para estimaciones de costos del vehículo que determinan el rendimiento, la velocidad recorrida y el combustible consumido. A modo de definir el transporte en el yacimiento, se precisa en consecuencia, como el proceso en el cual el material es trasladado desde las zonas de carguío, hasta la zona de descarga, conocida como canchas para el mineral y desmonteras para el caso de desmante, a través de equipos de transporte, para ello se utiliza volquetas y transportan bien sea, mineral o desmante. Ahora bien, este traslado tiene un costo, para su evaluación, se debe analizar, el rendimiento y la distancia recorrida, en cuanto al rendimiento del traslado de mineral y desmante, en la Mina Condestable, en el año 2020 fue para mineral de 33.42 tn/viaje para volquetes de 35 tn y 42.28 tn/viajes en los volquetes de 45 tn, asimismo el rendimiento de tn/viaje para el desmante fue de 32.21 tn/viaje y 38.14 tn/viaje para los volquetes de 35 tn y 45 tn, respectivamente.

Mientras que para el año 2021 el rendimiento del traslado de mineral fue de 34.32 tn/viaje 40.86 tn/viajes tanto para los volquetes de 35 tn y 45 tn, respectivamente y en el caso de desmante fue de 31.47 tn/viaje y 40.69 tn/viajes para los volquetes de 35 tn y 45 tn, respectivamente. Se recalca que, la empresa contratista que realiza la mayor cantidad de transporte mineral y desmante en el yacimiento Condestable, es CN SAC con una flota de 20 volquetes, luego le siguen Cominco, Opermin y Acoinsa con una flota de 3, 4 y 5 volquetes, respectivamente. Según los reportes de productividad indica que el recorrido del traslado del mineral en el año 2018 fue de 5.90 kilómetros, en el 2019 fue de 6.15 km y para el 2020 fue de 6.61 km, pudiéndose observar un incremento

para el 2020, asociado al aumento de los niveles de profundización y a la optimización de la producción en la implementación del método de minado sublevel stoping. Asimismo, para el 2021 la distancia promedio ha disminuido, pero esto se debe a que en los últimos meses se ha tenido un mayor aporte de canchas, dando como resultado una disminución en la distancia del traslado del mineral.

Tabla 5. Rendimiento flota de volquetes para el mineral trasladado de CMC

| Mineral | | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|---------|-------|----------|----------|----------|----------|
| | | tn/viaje | tn/viaje | tn/viaje | tn/viaje |
| CNSAC | 35 tn | 33.98 | 35.01 | 35.26 | 34.95 |
| | 45 tn | - | 42.29 | 42.28 | 40.86 |
| | 50 tn | 44.21 | 45.55 | - | - |
| Opermin | 35 tn | - | 31.82 | 32.50 | 35.59 |
| Cominco | 35 tn | 32.34 | 32.76 | 32.51 | 32.43 |
| Acoinsa | 45 tn | | | | 36.95 |

Fuente: Área de Productividad, Compañía Minera Condestable, S.A.
(2021)

Tabla 6. Rendimiento flota de volquetes para el traslado de desmonte de CMC

| Desmonte | | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|----------|-------|----------|----------|----------|----------|
| | | tn/viaje | tn/viaje | tn/viaje | tn/viaje |
| CNSAC | 35 tn | 31.95 | 31.98 | 32.10 | 31.90 |
| | 45 tn | - | 39.19 | 38.14 | 40.69 |
| | 50 tn | | | | |
| Opermin | 35 tn | - | 31.94 | 32.04 | 31.94 |
| Cominco | 35 tn | 31 | 32.01 | 32.49 | 30.57 |
| Acoinsa | 45 tn | | | | 32.80 |

Fuente: Área de Productividad, Compañía Minera Condestable, S.A.
(2021)

Tabla 7. Recorrido de la flota de volquetes para mineral / desmonte para la explotación

| | unidad | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|----------|--------|------|------|------|------|
| Mineral | km | 5.90 | 6.15 | 6.61 | 6.21 |
| Desmonte | km | 4.10 | 4.03 | 2.81 | 2.95 |
| Total | km | 5.39 | 5.55 | 5.65 | 5.11 |

Fuente: Área de Productividad, Compañía Minera Condestable, S.A.
(2021)

La empresa CN SAC asumió un costo unitario en el año 2019 de 2.15 \$/t, para el 2020 obtuvo un costo de 2.19 \$/t y en el 2021 fue de 2.23 \$/t. Ahora bien, los costos de transporte por distancia promedio, se encuentran en relación proporcional a los incrementos de distancias, dependiendo del nivel de profundidad de la explotación y estos en el 2018 para el recorrido de 5.39 kilómetros fueron por 2.84 \$/t. Para el 2019, según distancia recorrida de 5.55 kilómetros fueron de 2.96 \$/t y en el 2020 el promedio de distancia recorrida de 5.65 km arrojó un costo de 2.85\$/t. Dentro de los costos del transporte se halla el consumo de combustible; en el proceso de optimización de estos costos totales, se deben analizar abarcando toda la flota que labora en el yacimiento y de acuerdo con esa información se podrá establecer un ahorro en las tarifas, que conlleva un menor consumo de combustible. Los tiempos improductivos de las volquetas, fueron analizados para determinar las bases de las razones, para contabilizar la cantidad de duración y para determinar su equivalente a equipos no disponibles durante una jornada laboral.

Tabla 8. Distancia y costo promedio de transporte (mineral y desmonte)

| | unidad | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|-----------|--------|------|------|------|------|
| Distancia | km | 5.39 | 5.55 | 5.65 | 5.11 |
| \$/tn | \$/tn | 2.84 | 2.96 | 2.85 | 2.98 |

Fuente: Área de Productividad, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Chaowasakoo et al. (2017) indican que “las actividades de carga, descarga y traslado de materiales en las minas, representan entre el 40% al 60% de sus costos totales, por lo que, una adecuada planificación y análisis de estos, son determinantes en el eficiente desarrollo de las operaciones”. Con la intención de que no se conviertan en un problema de fuga de dinero descontrolada, en consecuencia, es imperativo mantenerse en alerta constante, visualizando estas actividades para estar enfocados siempre, en la reducción de costos de dichas variables.

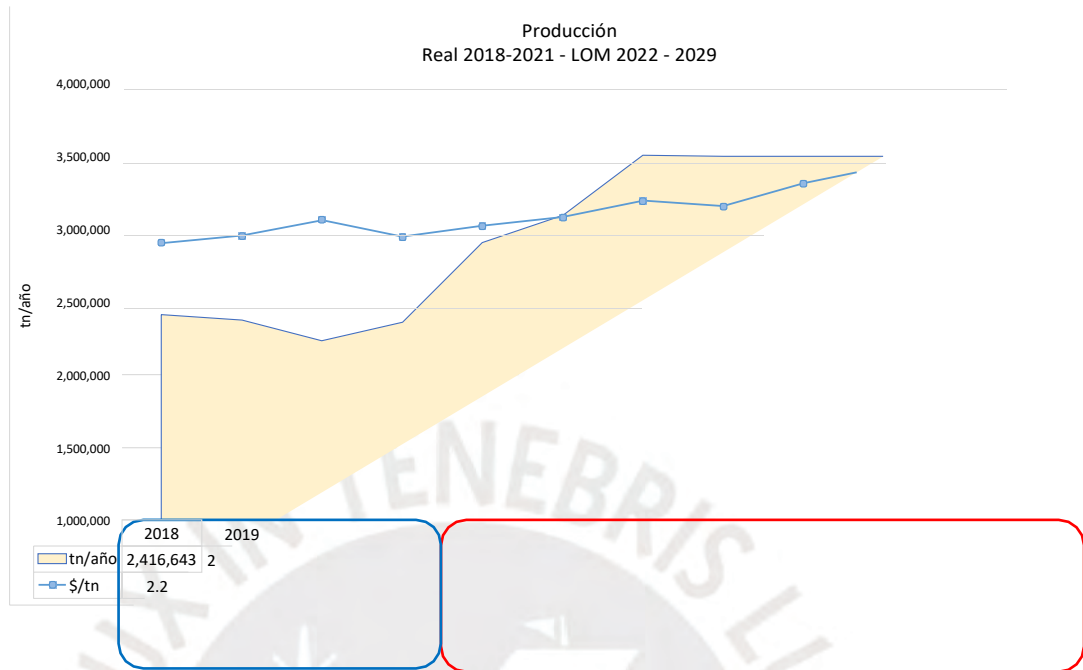
Las actividades de carga, descarga y traslado, son operaciones netamente de transportes, en el sector minero y se llevan a cabo a través de equipos tales como: el camión pala (la pala/shovel-truck), el camión de acarreo (haulage-truck), el camión de volteo (dump-truck) y/o tecnología auxiliar como la cinta o banda transportadora, estrictamente, no son camiones individuales, existen camiones que están equipados para la carga, el acarreo y volteo, es decir, combinan varias funciones, como por ejemplo el LKP-1601B (polaco) (Nehring et al. 2018).

La única vía en la que se realicen las actividades de transporte de manera óptima, es a través de la implementación de la gestión, para ello, Nakousi et al. (2018) estima pertinente el uso de herramientas de análisis matemático existentes, las cuales funcionan como software de apoyo, que permiten y facilitan los cálculos de mejores rutas, estimaciones de tiempo, peso de la carga, horas de despacho, etc. En síntesis, herramientas que permiten la constante evaluación de costos, en pro para su reducción, asimismo, se cuenta actualmente, con inteligencia artificial, tales como, camiones autómatas, camiones eléctricos, pelotones de camiones en configuración carreta, tecnología de frenado regenerativo e incluso, recursos auxiliares como bandas transportadoras con motores eléctricos.

Ahora bien, ¿por qué es importante la reducción de costos de transporte en las minas? Su importancia tiene fundamento en varias razones; primero, se asocia con el aumento de la productividad general de mina, segundo, el control sobre las actividades de transporte crean una cultura generalizada de medidas racionales e implica análisis cuantitativos de toda la actividad, propiciando mayor seguridad en las operaciones, organización de las actividades y en general, se eliminan las mudas y retrasos (Bajany et al. 2019). Además, los autores Ozdemir y Kumral (2019) señalan que “la reducción de costos de transporte es fundamental para el correcto desempeño del resto de las funciones del complejo y que, además, es un factor indispensable para una economía sostenible”. Se puede considerar que, cuando se aplican, por ejemplo, medidas de energía alternativa para los camiones, además de reducir costos, también se produce una menor contaminación ambiental.

En los últimos años, la Mina Condestable ha aumentado su nivel de profundización para la extracción de mineral de interior de mina a superficie, esto implica un aumento en el costo de transporte de mineral afectando la rentabilidad de la empresa. Ante esta situación se ha visto en la necesidad de buscar nuevas alternativas para reducir y/o mantener el costo de transporte aplicando proyectos de innovación. A la fecha, el costo del transporte de mineral de interior de mina a superficie representa 20% del costo de mina y un 8% del costo operativo (Opex); para el 2018, se tuvo un costo de 2.22\$/tn y para el año 2021 se tuvo un incremento a 2.28 \$/tn; sin embargo, según la proyección de las metas físicas y LOM este costo se incrementará a medida que pasen los años.

Figura 16. Costo de transporte 2018-2021 y proyección del costo de transporte según MF 2022 y LOM 2023-2029



* Metas Físicas 2022

Fuente: Elaboración propia

Ante esta problemática de aumento del costo de transporte, es necesario que la empresa desarrolle un plan estratégico para que la Compañía Minera Condestable afronte una eventual coyuntura de precios bajos de los metales, cambios de gobiernos, posibles cambios de política (nuevas reglas de juego) y cambios en las economías de los países consumidores teniendo como objetivo bajar los costos de transporte y como consecuencia bajos los costos de producción (costo operativo). Es por eso que la empresa ha realizado estudios para alternativas de transporte como:

Alternativas de mejora en el transporte:

Implementación de flota de volquetes de 50 tn: En el año 2019, Mina Condestable ha venido realizando pruebas con volquetes de diferentes capacidades para optimizar el costo de transporte. Implementado primero el uso de volquetes de 50 tn para ver el incremento de productividad frente a los volquetes de 40 tn en el 2020. Los resultados no fueron los requeridos para la empresa debido a la baja de la productividad del scoop de 6 yd³ ya que el volquete debería cargar con 5 viajes, pero lo hacía con 4.5 viajes perdiendo así 0.5 viaje de productividad. Para no perder eficiencia en el scoop se debía utilizar un equipo de mayor capacidad y esto implicaría realizar secciones de mayor dimensión en la mina, entonces se optó por continuar con los

volquetes de 40 tn ya que estos si cargaban con 4 viajes del scoop y se mantenía la eficiencia de los viajes.

Pique: Asimismo, se realizó un estudio para el traslado del mineral mediante el uso del pique; sin embargo, como el costo de la implementación es muy alto (US\$ 25,000,000), la empresa descartó invertir.

La empresa tiene como objetivos la reducción de costos y el aumento de la productividad y eficiencia de las operaciones unitarias. Para llegar a este objetivo la empresa se encuentra en el desarrollo de pruebas de nuevos equipos, insumos y procesos. Razón por la cual, continúa realizando innovaciones para el transporte de mineral que permitan mantener y/o reducir el costo de transporte a consecuencia de la profundización de la mina.

Para ello, actualmente viene desarrollando un proyecto piloto en el cual se está experimentando las ventajas del uso del camión de doble tolva con la finalidad de poder transportar 80 tn de mineral y con ello se busca optimizar e incrementar la eficiencia del transporte. Este volquete está diseñado exclusivamente para Mina Condestable y es único en el mercado. La empresa Scania (empresa encargada del diseño) en coordinación con la operación minera de Condestable han diseñado un volquete de acuerdo con las necesidades de la mina.

Este proyecto de aplicación del uso del volquete de doble tolva será desarrollado solo en el proceso de traslado del mineral, debido a que el traslado del desmonte será depositado en desmonteras en interior mina.

Este volquete cuenta con una capacidad de arrastre de 110 toneladas y capacidad neta de 80 toneladas, lo que hace que su capacidad de carga aumente. El nuevo modelo Scania R620 8 x 4 Hevy Tipper se ha trabajado especialmente para la minería subterránea, el modelo Hevy Tipper se ha actualizado y es un modelo particular por tener dos tolvas con 80 toneladas netos de carga y va a permitir incrementar la productividad, la eficiencia y reducción de costos; con este equipo se espera también, garantizar la seguridad de los trabajadores con la ayuda de la tecnología e innovación. Con el uso del volquete de doble tolva se estima reducir el costo de transporte a 0.25 \$/tm-km y de esta manera garantizar la rentabilidad de la mina.

Como enfoque metodológico, la investigación abordada es concebida como un paradigma de la investigación fenomenológica, la cual consiste en el análisis de las teorías de sucesos y acciones de las personas, en un contexto determinado, en esencia, su objetivo principal consiste en caracterizar las actividades, analizando y observando

las declaraciones, en la medida de comprender las experiencias de los sujetos de estudio (Maykut & Morehouse, 1994). En consecuencia, dicho paradigma evalúa la perspectiva que construyen las personas en base a sus experiencias sociales, para enmarcar las descripciones y basamentos en los cuales se fundan los conceptos del relato (Bonilla & Rodríguez, 2000).

En cuanto al sentido fenomenológico de este estudio, está enmarcado en las acepciones que aporta el sociólogo y filósofo Alfred Schütz, quien establece la relación directa entre ciencia y experiencia sociales, puesto que, al hablar de la primera se debe hacer referencia a la segunda y esta a su vez constituye la vida cotidiana, recíprocamente, posibilita el conocimiento de las ciencias. El autor Schütz, apunta que la fenomenología de lo social discierne del empirismo de las ciencias a nombre de la experiencia, por lo que, fundamenta su teoría en la ciencia social de manera amplia, que incluye la objetivación científica, el reconocimiento de los análisis disciplinarios de lo social, entre otras dimensiones constitutivas e inherentes.

En síntesis, realiza que la fenomenología de lo social se enraíza con una filosofía de la experiencia, la cual conlleva a un nuevo esquema de unión entre ciencia social y filosofía, adoptando a su vez, el pensamiento de Husserl, que está dirigido hacia el acople de pistas para aprehender la permanente e insondable riqueza de la experiencia misma (Schütz, 1954). Por lo tanto, el correspondiente análisis de esta investigación se ha efectuado en base al enfoque fenomenológico, siendo necesario observar, comparar y analizar los reportes de productividad de la Compañía Minera Condestables, S.A, durante el periodo 2020-2021.

La información recabada de estos reportes, han permitido la extensa comprensión de los significados sobre la vivencia cotidiana en la labor de la Mina Condestable, mientras que, se complementa con otro enfoque paradigmático y es el cualitativo, el cual consiste en describir y reconstruir contextos reales, para el caso, el de una mina, y los costos de su transporte, descubriendo las singularidades e interrelaciones de las unidades de análisis principales para el Scania Heavy Tipper XT V8.

Respecto al enfoque cualitativo, en términos generales, busca caracterizar la información, analizar las palabras, para producir datos necesarios como evidencia, a través de la observación de los reportes. A su vez, esta metodología se asemeja a la cuantitativa, debido a su rigurosidad para el manejo e interpretación de los datos y para ir más allá, no solo es una aplicación de técnicas para obtener datos, sino una forma de

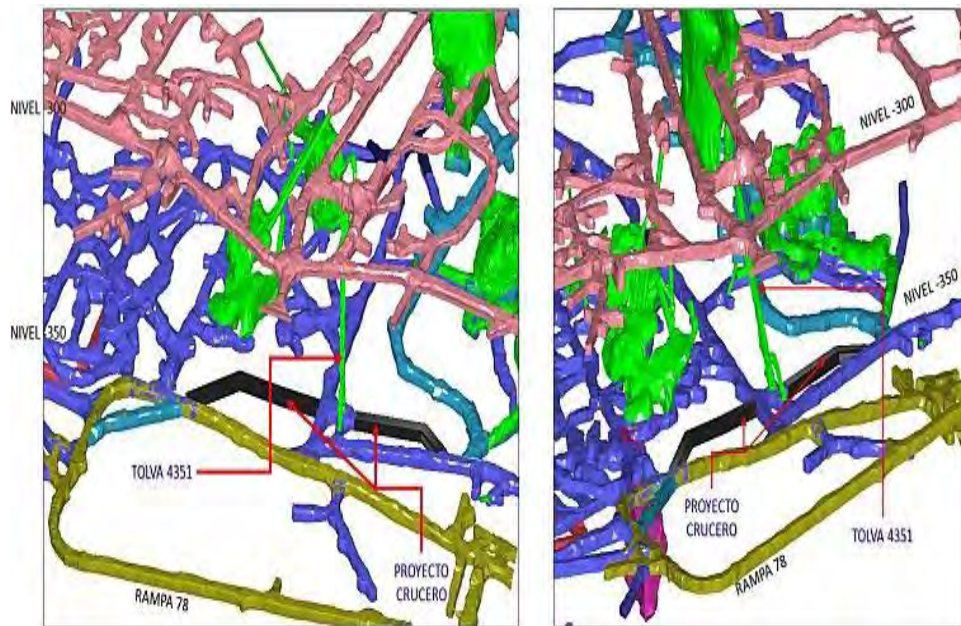
encarar la realidad social investigada (Taylor & Bongdan, 2020). En esencia, un estudio cualitativo no recolecta datos con el propósito de establecer teorías o hipótesis formuladas, sino, interpreta percepciones, conceptos y realidades sociales, de los sujetos de estudio, para determinar las pautas generales que servirán de guía u orientación al estudio en cuestión (Hurtado, 2000).

En el caso del estudio actual, se acopla perfectamente al siguiente concepto de investigación cualitativa: “es un arte que da cabida a la reconstrucción de fenómenos de estudio, mediante la información guiada por el trabajo de campo, se descarta la rigidez de la información y se adopta la flexibilidad, por lo tanto, el único interés del investigador es comprender y exponer la realidad” (Creswell, 1994). Finalmente, es una forma de enfocar, analizar y explicar la situación actual de un contexto social, a partir de perspectivas consideradas legítimas, para darle sentido y explicación del objeto de estudio.

2.2 Características generales del proyecto ejecutado en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021 con el volquete de doble tolva para la reducción de costos

Para la reducción de costos en transporte, la mina ha dispuesto la ejecución de proyectos para el transporte de minerales a un costo inferior. En la actualidad se viene ejecutando específicamente en los niveles 300 y 350 con el uso de camión doble tolva: Proyecto Tolva 4351. Asimismo, se viene desarrollando la ejecución del Proyecto Tolva en los niveles nv-580 y nv-700, por lo que a continuación se presenta una descripción detallada:

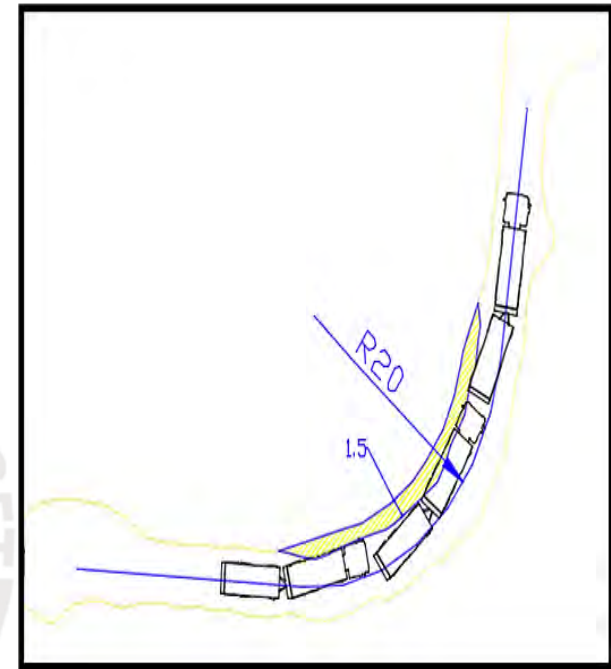
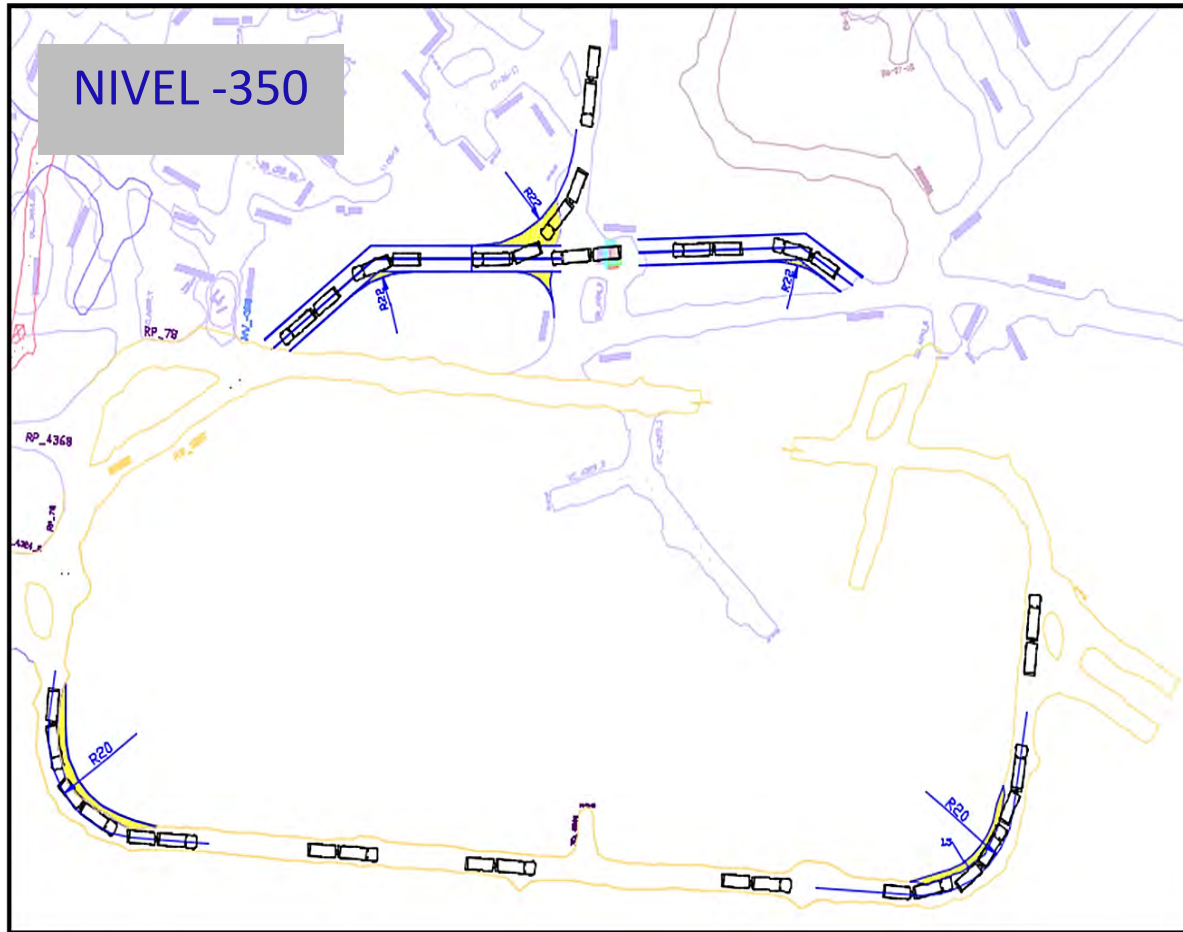
Figura 17. Proyecto: Crucero para volquete de doble tolva nv-350



Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)



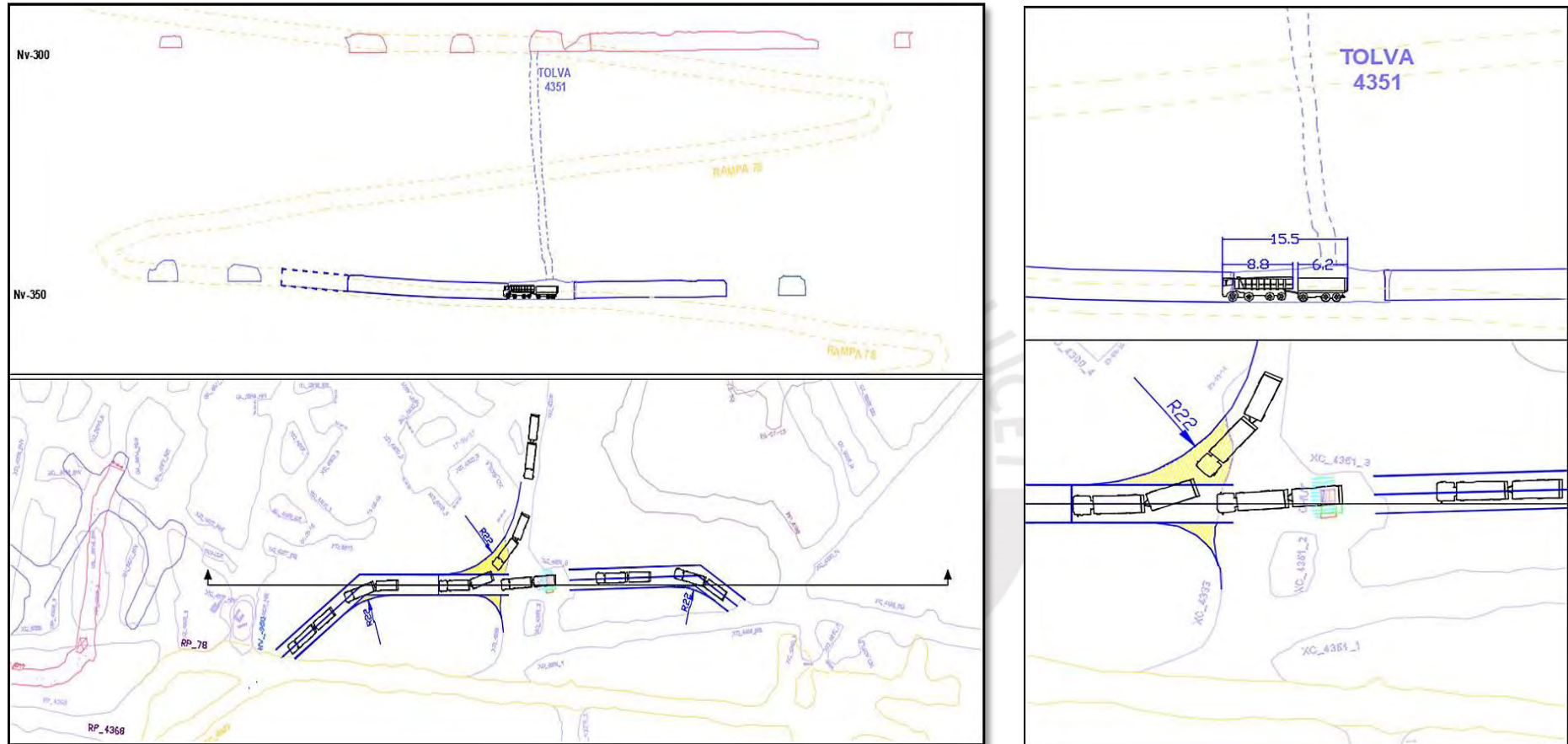
Figura 18. Proyecto: Crucero para volquete de doble tolva, vista en planta Nivel 350



- LOS RADIOS ACTUALES DE LAS RAMPA 78 ES 20.0m ; SE RECOMIENDA DESQUINCHAR EL RADIO INTERNO 1.5m.

Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

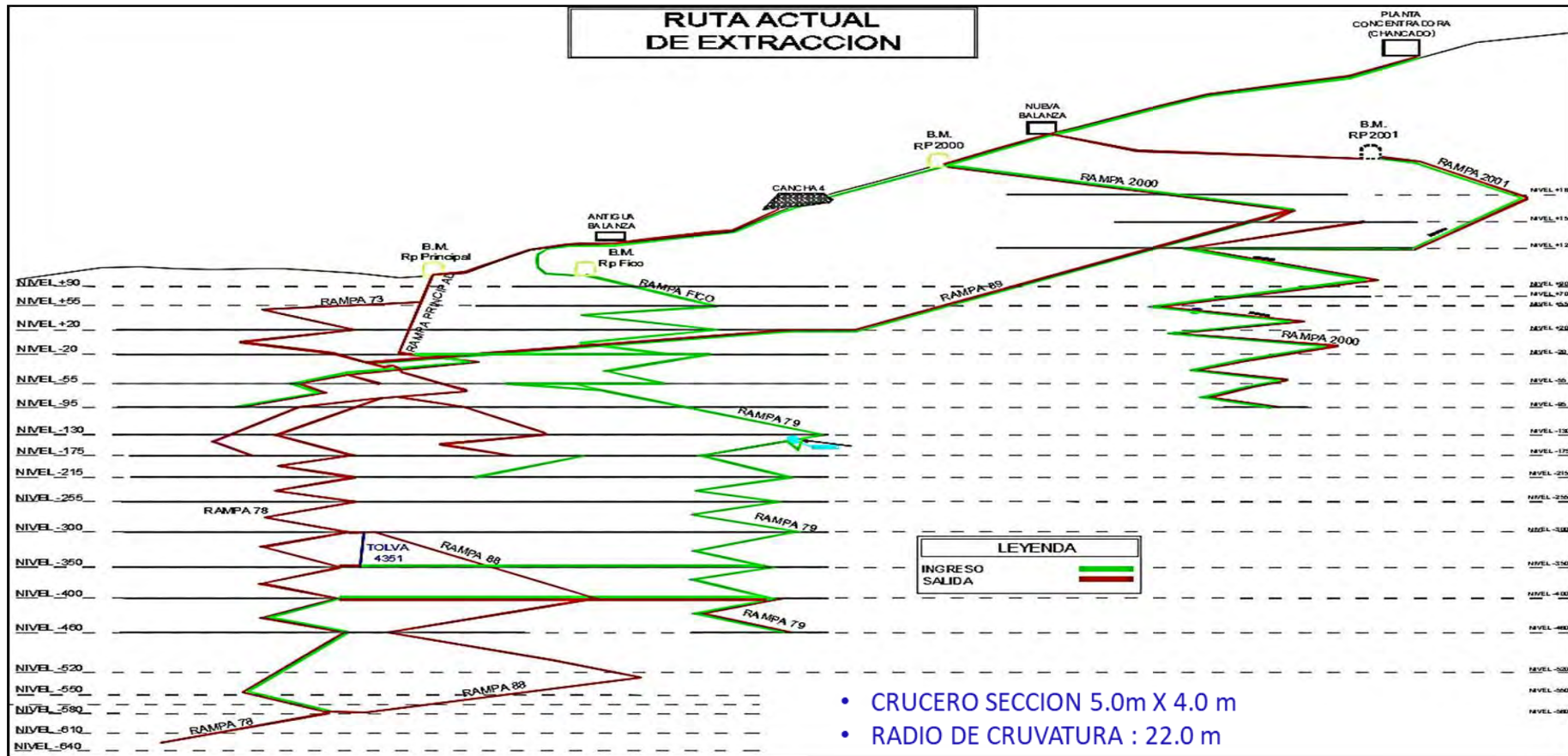
Figura 19. Proyecto: Crucero para volquete de doble tolva nv-350, vista en sección



**CRUCERO SECCIÓN 5.0 m X 4.0 m
RADIO DE CRUVATURA : 22.0 m**

Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

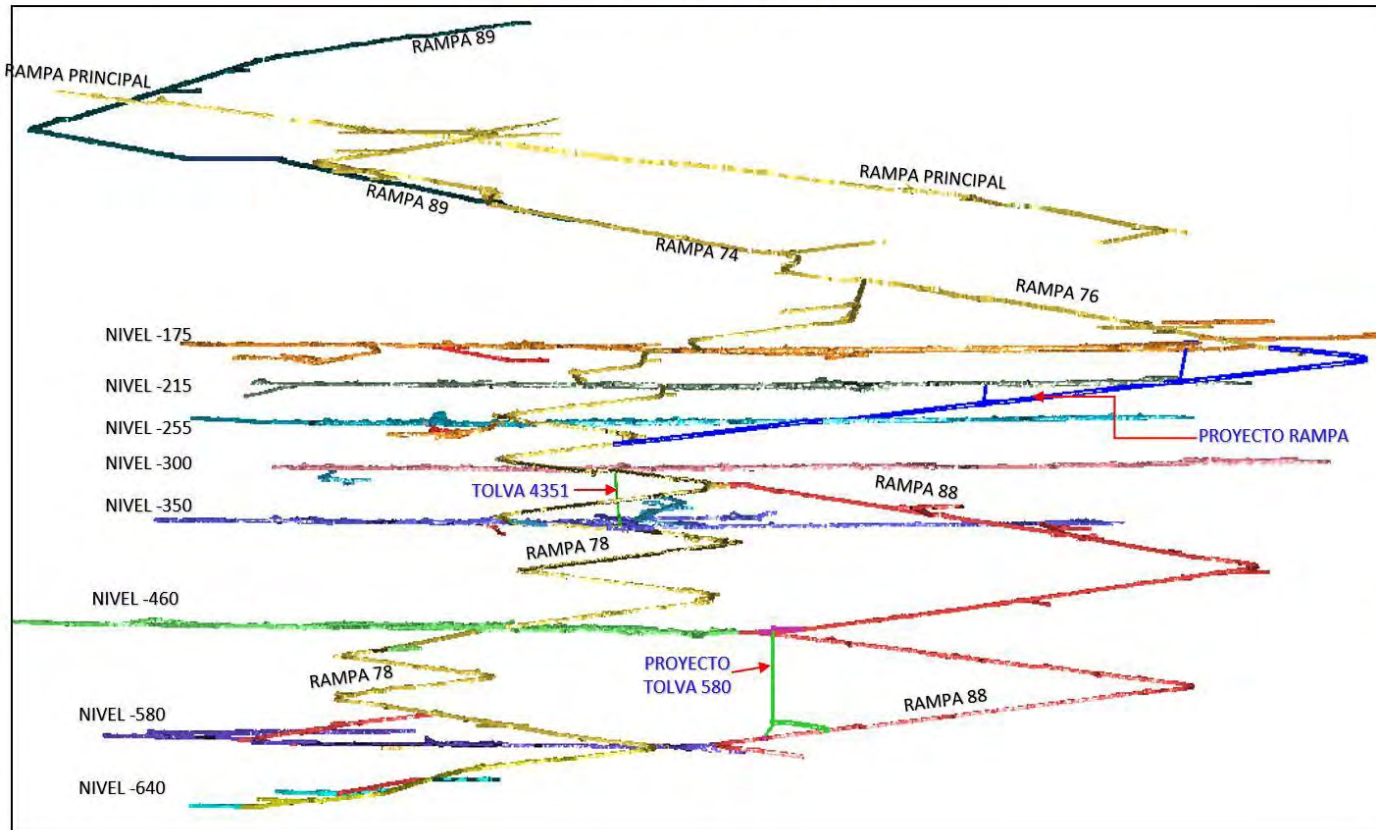
Figura 20. Proyecto: Crucero para volquete de doble tolva, vista en sección



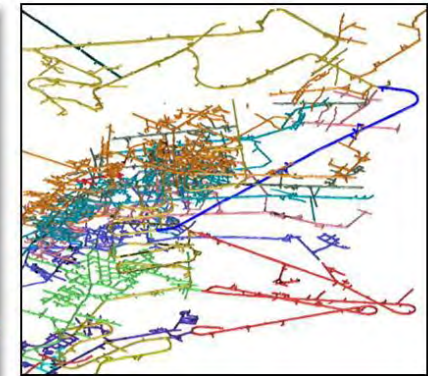
Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 21. Proyecto: Rampa para volquete de doble tolva, vista en sección

VISTA EN SECCION



VISTA 3D

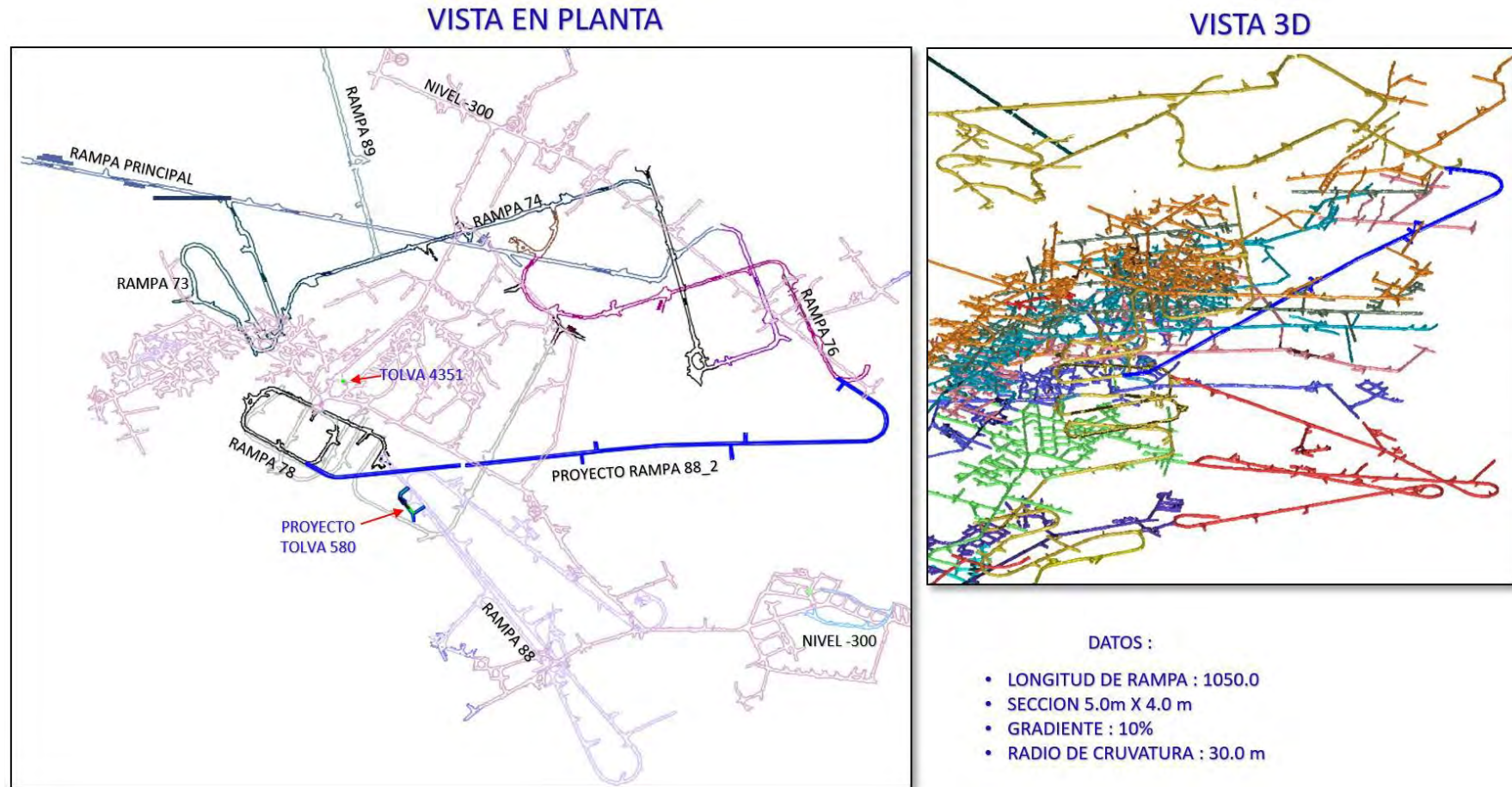


DATOS :

- LONGITUD DE RAMPA : 1050.0
- SECCION 5.0m X 4.0 m
- GRADIENTE : 10%
- RADIO DE CRUVATURA : 30.0 m

Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

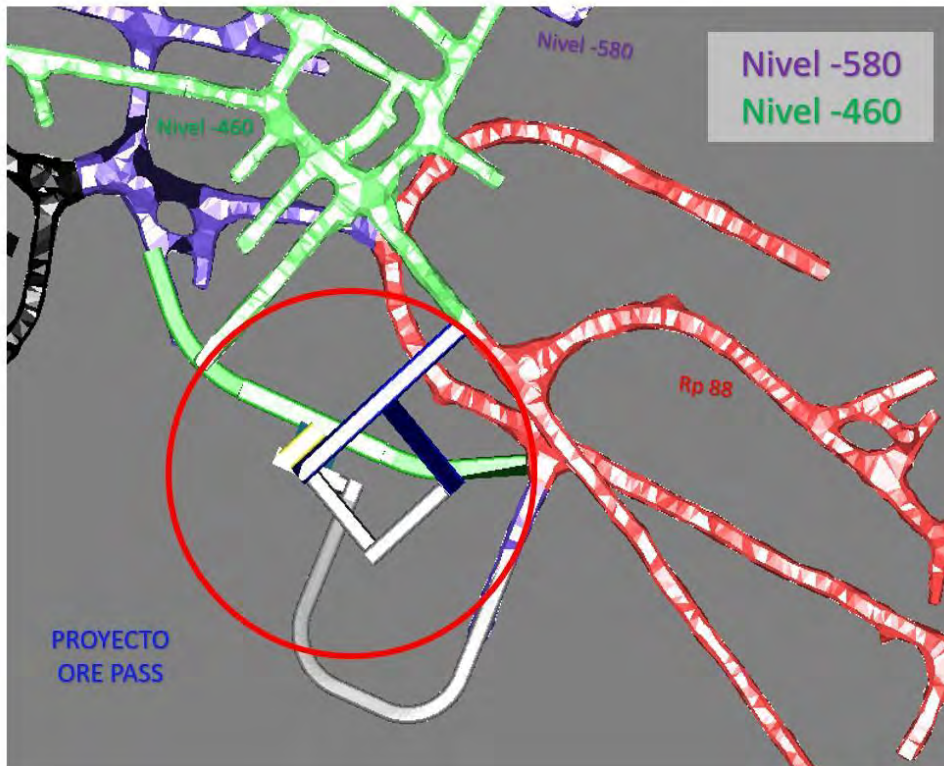
Figura 22. Proyecto: Rampa para volquete de doble tolva, vista en sección



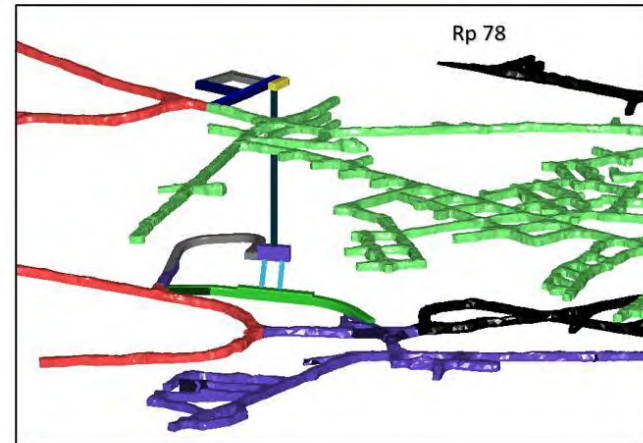
Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 23. Proyecto: OP nv-580 al nv-460 versión 6-1

VISTA EN PLANTA



VISTA 3D



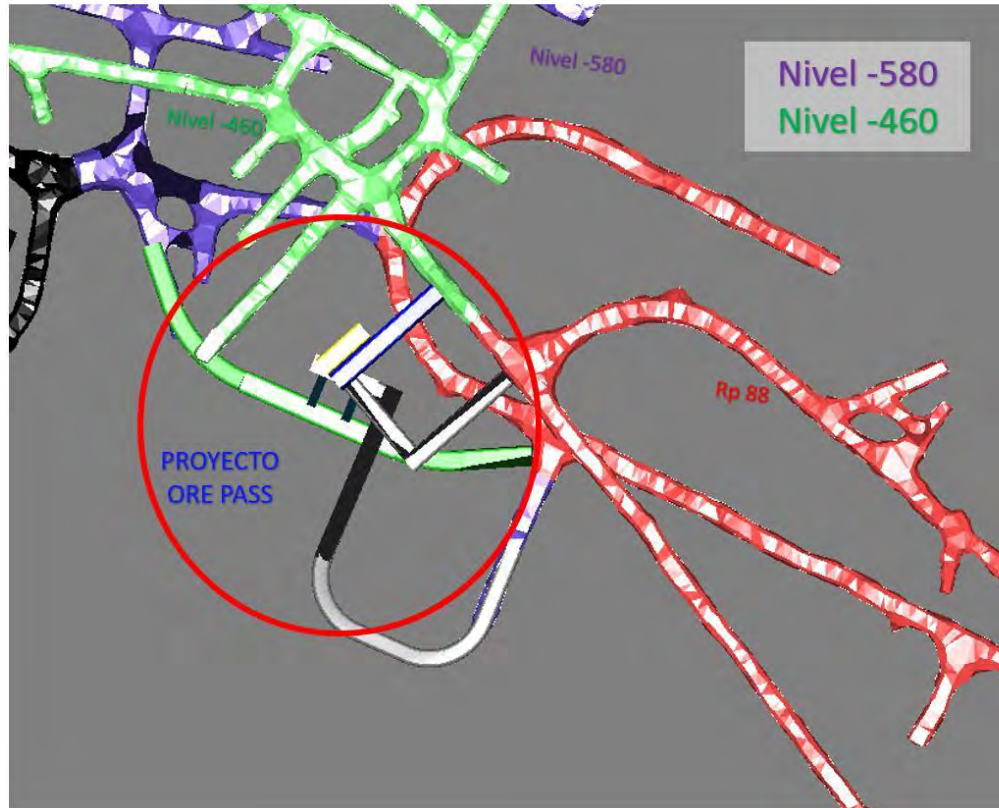
NOTA : V_6-1

- (Nivel -580) 235 metros de preparación / 30 m chimenea (2)
 - (Nivel -580) 240 m3 desquinche
 - (Nivel -460) 114 metros de preparación / 88 m Raise boring. (1)
 - (Nivel -560) 180 m3 desquinche
-
- Total (Nivel -580 al Nv -460)
349 metros de preparación
118 metros chimenea (Raise boring y convencional)
420 m3 desquinche

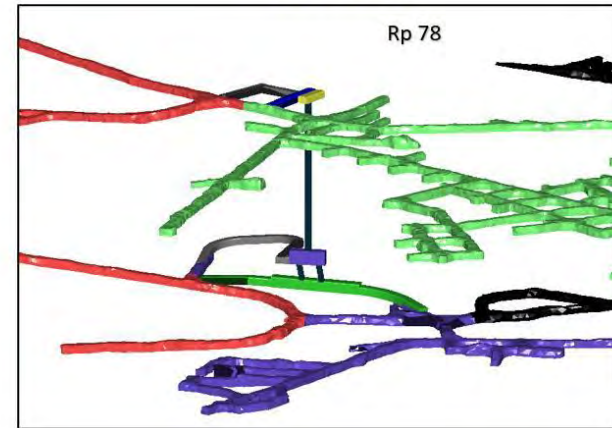
Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 24. Proyecto: OP nv-580 al nv-460 versión 6-2

VISTA EN PLANTA



VISTA 3D

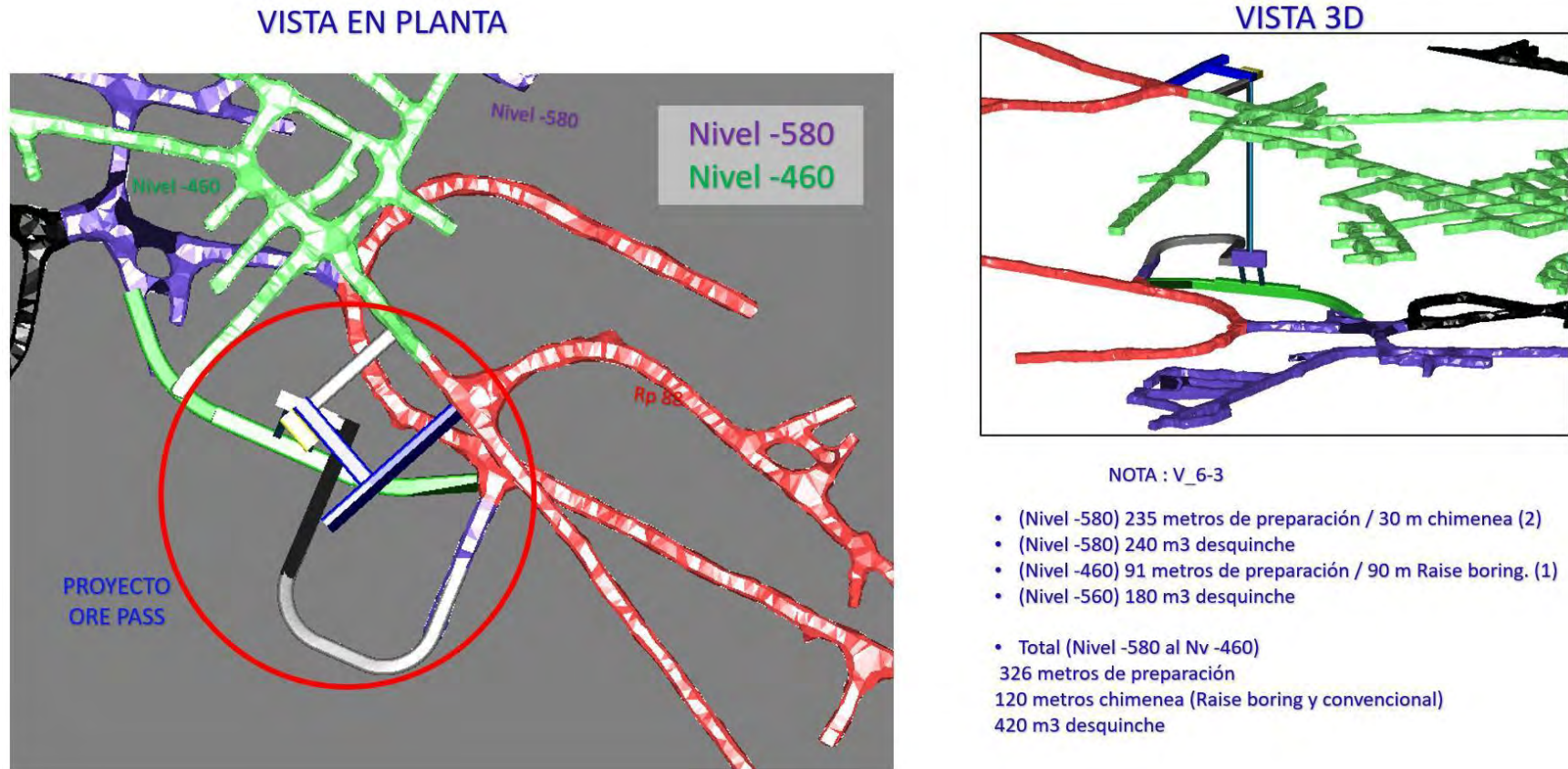


NOTA : V_6-2

- (Nivel -580) 235 metros de preparación / 30 m chimenea (2)
 - (Nivel -580) 240 m3 desquinche
 - (Nivel -460) 79 metros de preparación / 88 m Raise boring. (1)
 - (Nivel -560) 180 m3 desquinche
-
- Total (Nivel -580 al Nv -460)
314 metros de preparación
118 metros chimenea (Raise boring y convencional)
420 m3 desquinche

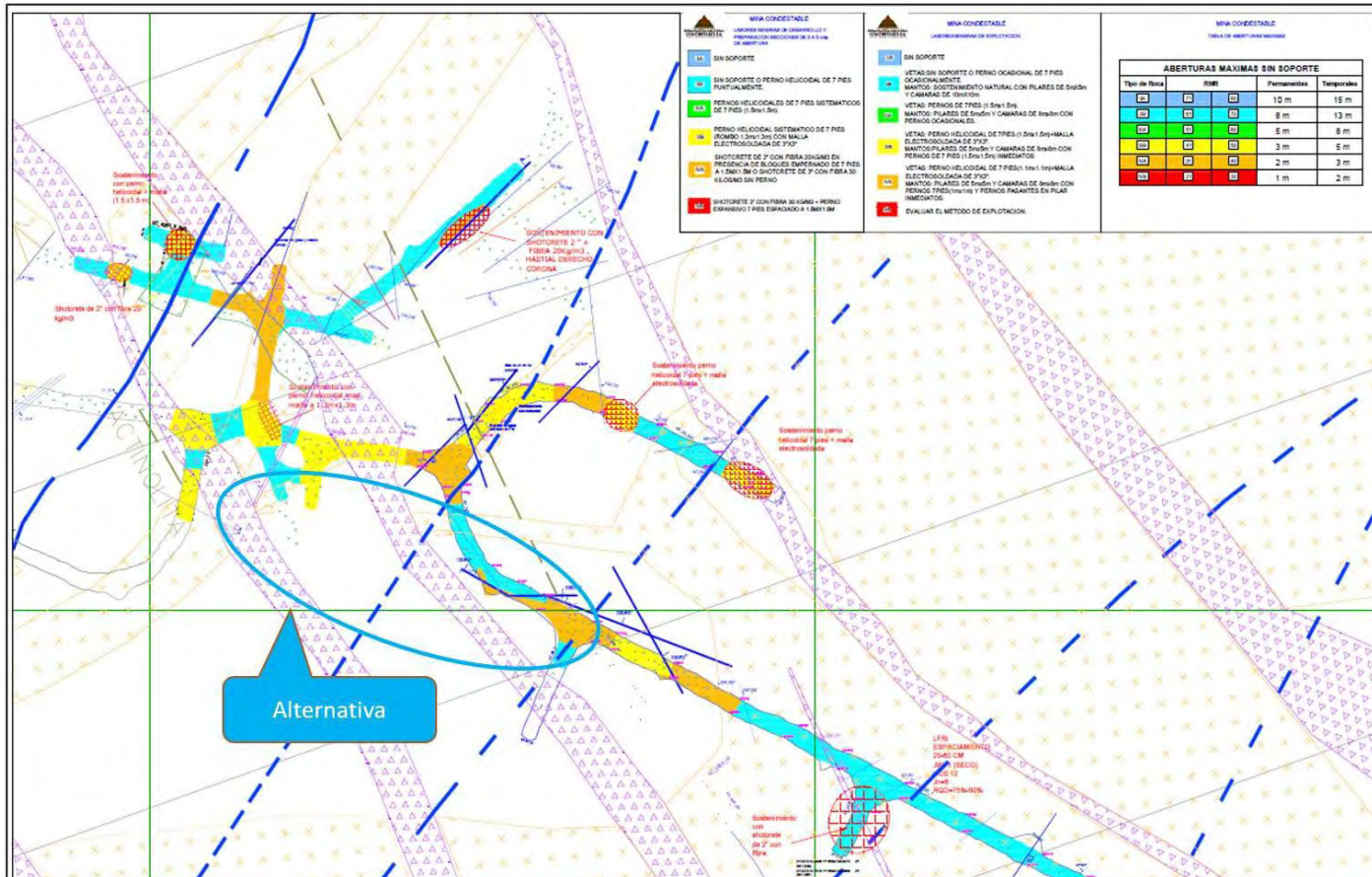
Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 25. Proyecto: OP nv-580 al nv-460 versión 6-3



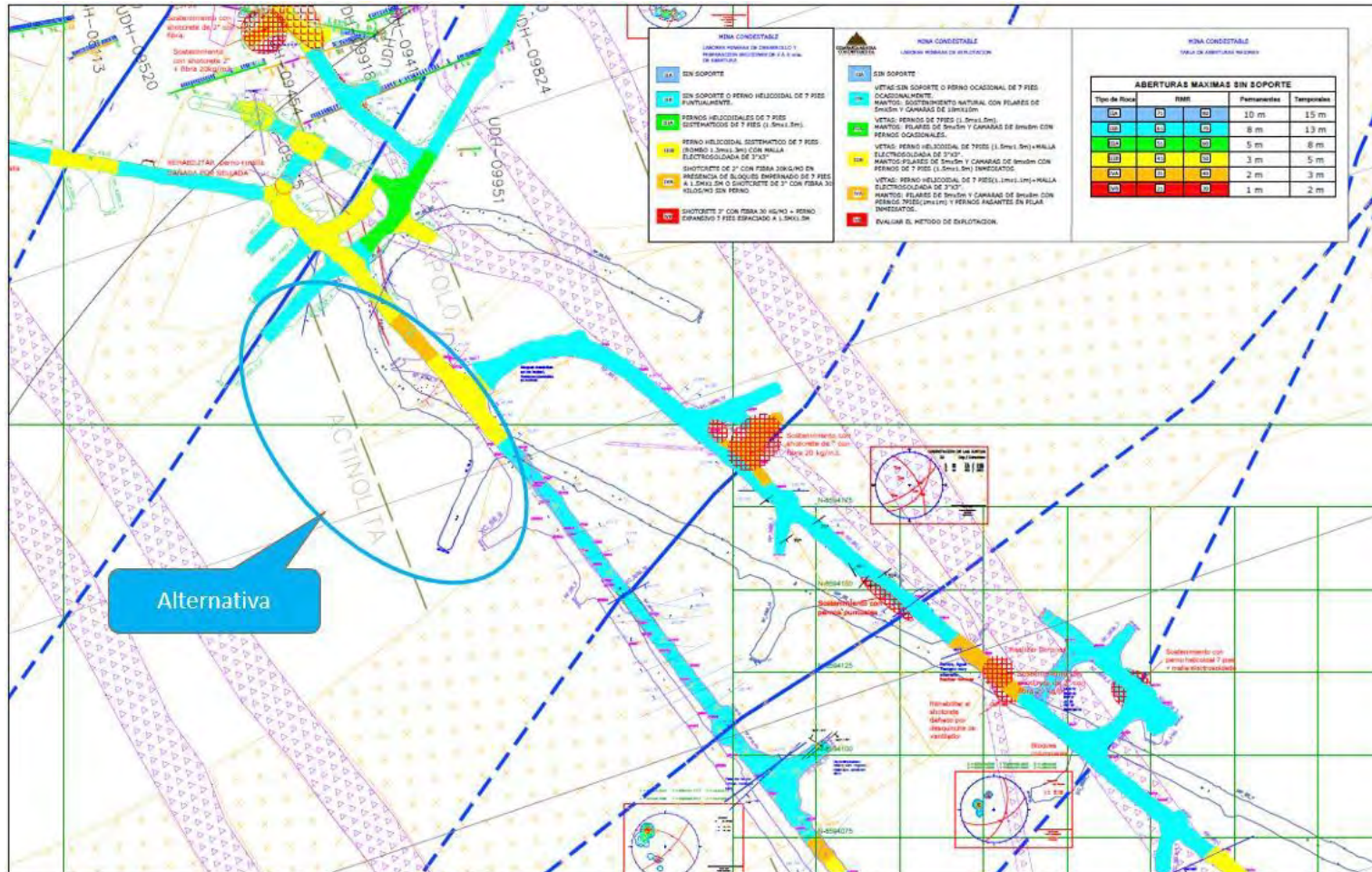
Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 26. Proyecto: Plano geomecánico nv-580



Fuente: Área de Geomecánica, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 27. Proyecto: Plano geomecánico nv-460



Fuente: Área de Geomecánica, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 28. Proyecto: Comparativo de alternativas para la construcción del Ore Pass nv-580 al nv-460

| Nivel | Labor | Sección m | Proyecto Inicial | | | Alternativa 6-1 | | | Alternativa 6-2 | | | Alternativa 6-3 | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------------|------------------|--------------|------------|-----------------|--------------|------------|-----------------|--------------|------------|-----------------|--------------|------------|-----|
| | | | Distancia | Distancia | Desquinche | Distancia | Distancia | Desquinche | Distancia | Distancia | Desquinche | Distancia | Distancia | Desquinche | |
| | | | avance (m) | Chimenea (m) | m3 | avance (m) | Chimenea (m) | m3 | avance (m) | Chimenea (m) | m3 | avance (m) | Chimenea (m) | m3 | |
| Nv -580 | Preparación Buzón | Cámara 1 | 4.0x4.0 | 75 | | | 110 | | | 110 | | | 110 | | |
| Nv -580 | Preparación Buzón | Cámara 2 | 4.0x4.0 | | | | 17 | | | 17 | | | 17 | | |
| Nv -580 | Volquete By pass | Cámara 3 | 4.0x4.0 | 97 | | | 108 | | | 108 | | | 108 | | |
| Nv -580 | Buzón | Chimenea 1 | 2.0x2.0 | | 16.5 | | | 15 | | | 15 | | | 15 | |
| Nv -580 | Buzón | Chimenea 2 | 2.0x2.0 | | | | | 15 | | | 15 | | | 15 | |
| Nv -580 | Tova (recepción) | Desquinche 1 | 5.0x5.0 | | | | | | | | | | | | |
| Nv -580 | Buzón | Desquinche 2 | 4.0x4.0 | | | | | | | 240 | | | | | 240 |
| Nv -580_Nv -460 chimenea (chut) | | Raise boring1 D_3.1 | | | 95 | | | 88 | | | 88 | | | 90 | |
| Nv -460 | Volquete | Cámara 1 | 4.5x4.5 | 21 | | | 49 | | | 30 | | | 42 | | |
| Nv -460 | Volquete | Cámara 2 | 4.0x4.0 | 44 | | | 24 | | | | | | 25 | | |
| Nv -460 | Acceso / Cámara (Rompe banco) | Cámara 1 | 4.0x4.0 | | | | 43 | | | 50 | | | 25 | | |
| Nv -460 | Scoop (Rompe banco) | Cámara 2 | 4.0x4.0 | 34 | | | | | | | | | | | 180 |
| Total Chut Nv-580 a Nv -460 | | | | 271 | 111.5 | 0 | 349 | 118 | 420 | 314 | 118 | 420 | 326 | 120 | 420 |

Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 29. Proyecto: Comparativo en incidencia al recorrido del nv-580 al nv-460

Costos por recorrido del Nv -580 al echadero Nv -460

| | Recorrido al echadero | | Viaje Tn | Pu \$/tn-km | costo \$ |
|------------------|-----------------------|------------------|-------------|----------------|-------------|
| | Inicio Nv -580 | Final Nv -460 | | | |
| | Distancia (km) | | | | |
| Proyecto Inicial | 1.19 | | 1 | 0.34 | 0.404 |
| Alternativa 6-1 | 1.16 | | 1 | 0.34 | 0.394 |
| Alternativa 6-2 | 1.13 | | 1 | 0.34 | 0.383 |
| Alternativa 6-3 | 1.14 | | 1 | 0.34 | 0.388 |



Costos por recorrido Tolva Nv -580 a Superficie



| | Recorrido Salida | | Viaje Tn | Pu \$/tn-km | costo \$ | Total |
|------------------|----------------------------|---------------------|-------------|----------------|-------------|-------|
| | Inicio tolva Nv -580 | Final Superficie | | | | |
| | Distancia (km) | | | | | |
| Proyecto Inicial | 0.00 | | 1 | 0.34 | 0.00 | 0.404 |
| Alternativa 6-1 | 0.05 | | 1 | 0.34 | 0.02 | 0.411 |
| Alternativa 6-2 | 0.05 | | 1 | 0.34 | 0.02 | 0.400 |
| Alternativa 6-3 | 0.05 | | 1 | 0.34 | 0.02 | 0.405 |

Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 30. Proyecto: Comparativo en incidencia al recorrido del nv-580 al nv-460

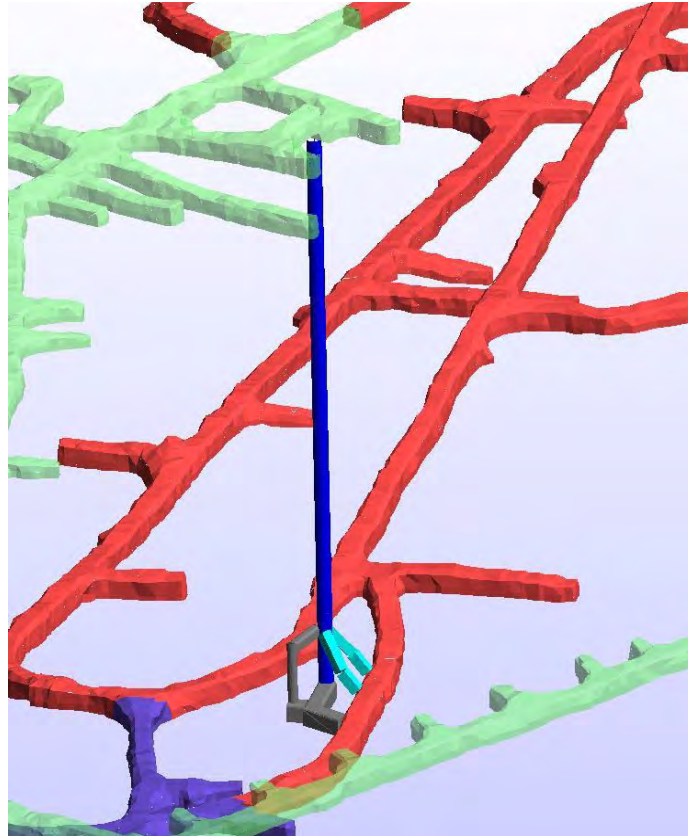
| | Recorrido al echadero | | | | Recorrido Salida | | | | Total | | |
|------------------|-----------------------|------------------|-------------|----------------|------------------|-----------------|---------------------|-------------|-------|----------------|-------------|
| | Inicio Nv -580 | Final Nv -460 | Viaje Tn | Pu \$/tn-km | costo \$ | Inicio tolva | Final Superficie | Viaje Tn | | Pu \$/tn-km | costo \$ |
| | Distancia (km) | | | | | Distancia (km) | | | | | |
| Proyecto Inicial | 1.19 | | 1 | 0.34 | 0.404 | 0.00 | | 1 | 0.34 | 0.00 | 0.404 |
| Alternativa 6-1 | 1.16 | | 1 | 0.34 | 0.394 | 0.05 | | 1 | 0.34 | 0.02 | 0.411 |
| Alternativa 6-2 | 1.13 | | 1 | 0.34 | 0.383 | 0.05 | | 1 | 0.34 | 0.02 | 0.400 |
| Alternativa 6-3 | 1.14 | | 1 | 0.34 | 0.388 | 0.05 | | 1 | 0.34 | 0.02 | 0.405 |

Alternativa 6-2

| | Unidades | Avance m | PU \$/m | Costo \$ |
|---------------------------------|----------|-------------|------------|----------------|
| Labores Avances | 4.5x4 | 314 | 560 | 175,840 |
| Chimeneas | D_4 | 120 | 2,000 | 240,000 |
| Desquiches | m3 | 420 | 14 | 5,880 |
| Transporte | tn | 22,544 | 3.7 | 83,413 |
| Sostenimiento / otros | | | | 116,555 |
| Instalación de Parrilla + Tolva | | | | 150,000 |
| TOTAL | | | | 771,688 |

Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

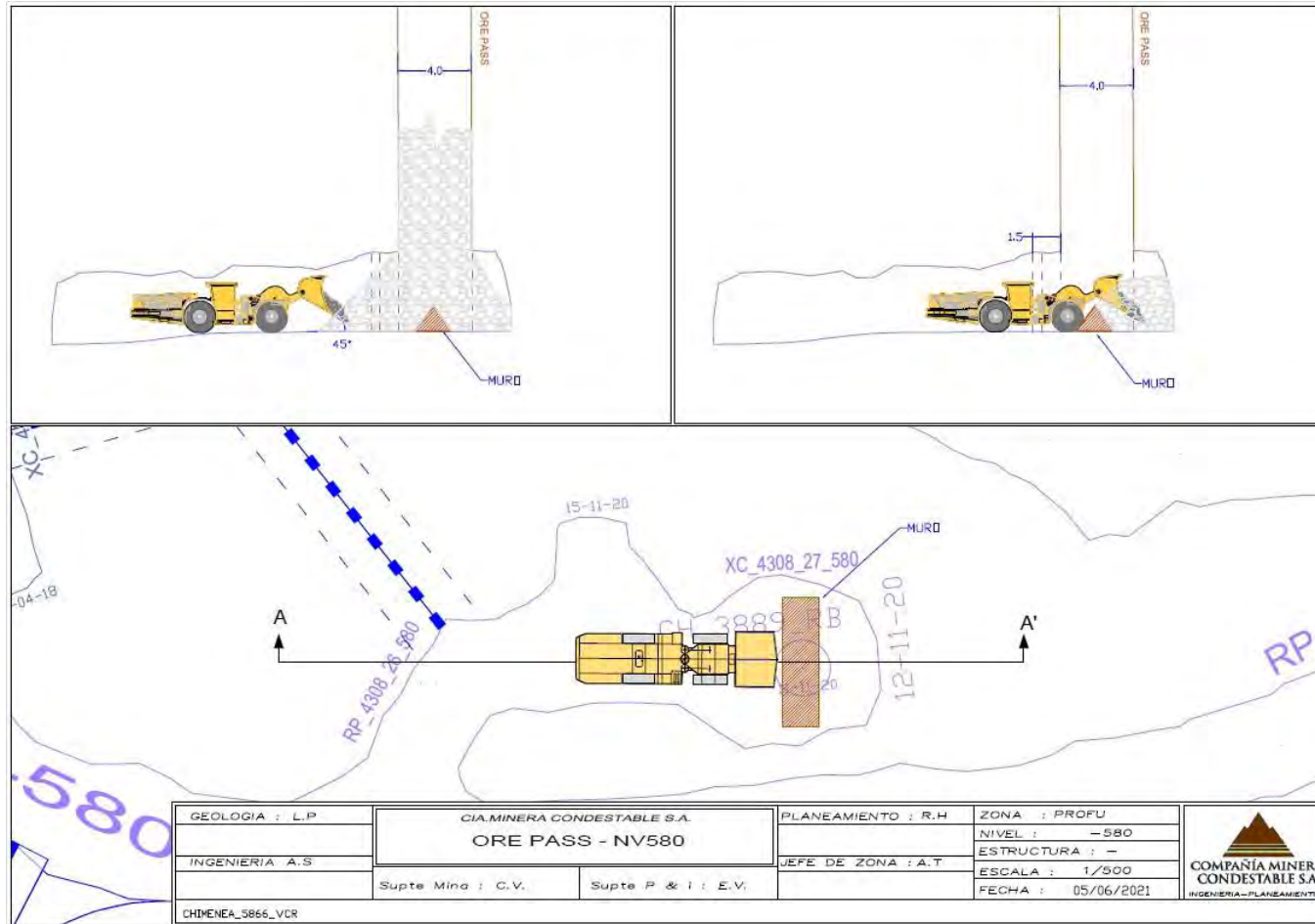
Figura 31. Proyecto: Capacidad de recepción OP nv-460 al nv-580



| Diametro m | Log. RB m | P.E. Roto | Capacidad m3 | Capacidad tn |
|---------------|--------------|-----------|-----------------|-----------------|
| 4 | 120 | 1.98 | 1,508 | 2,986 |

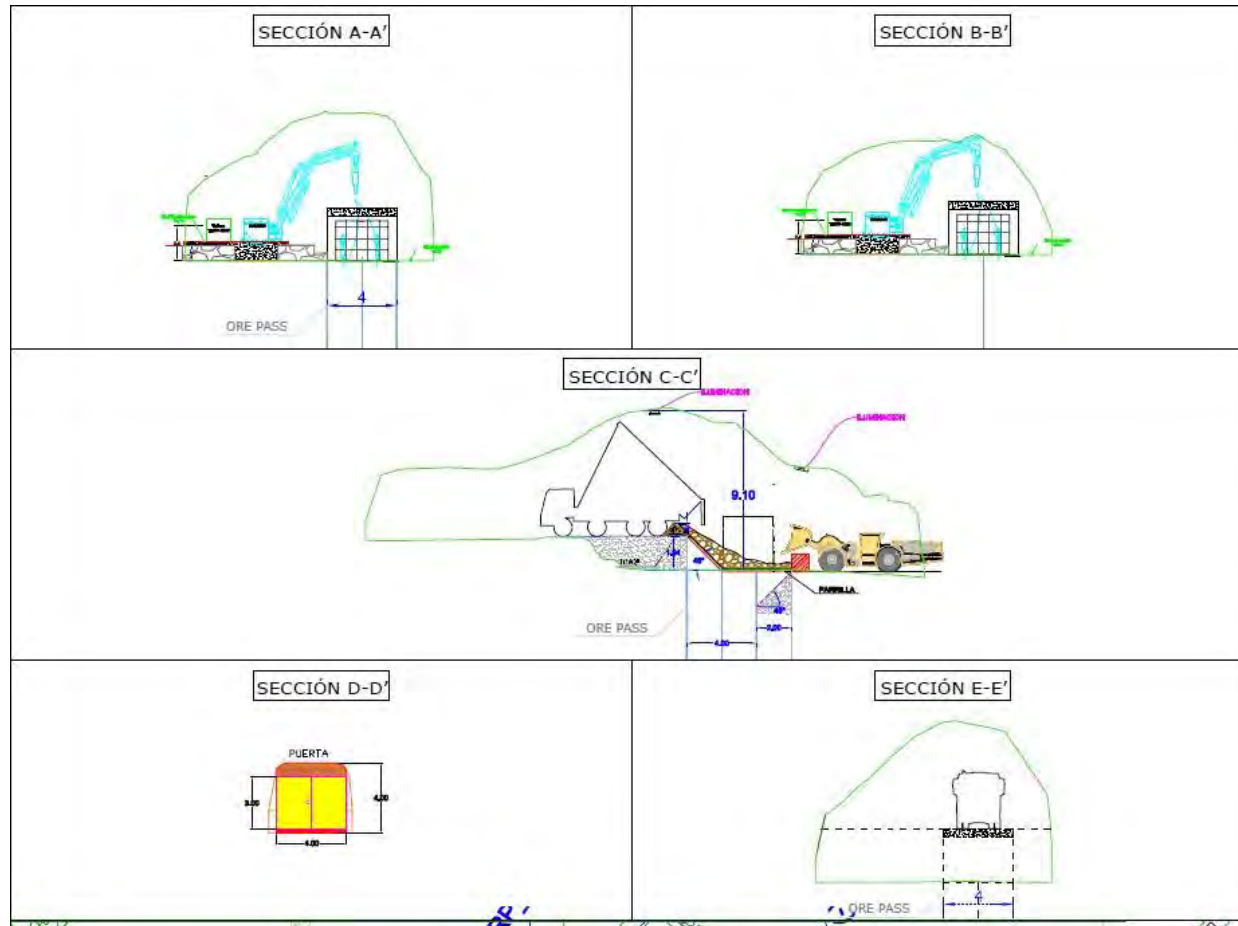
Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 32. Proyecto: OP nv-580



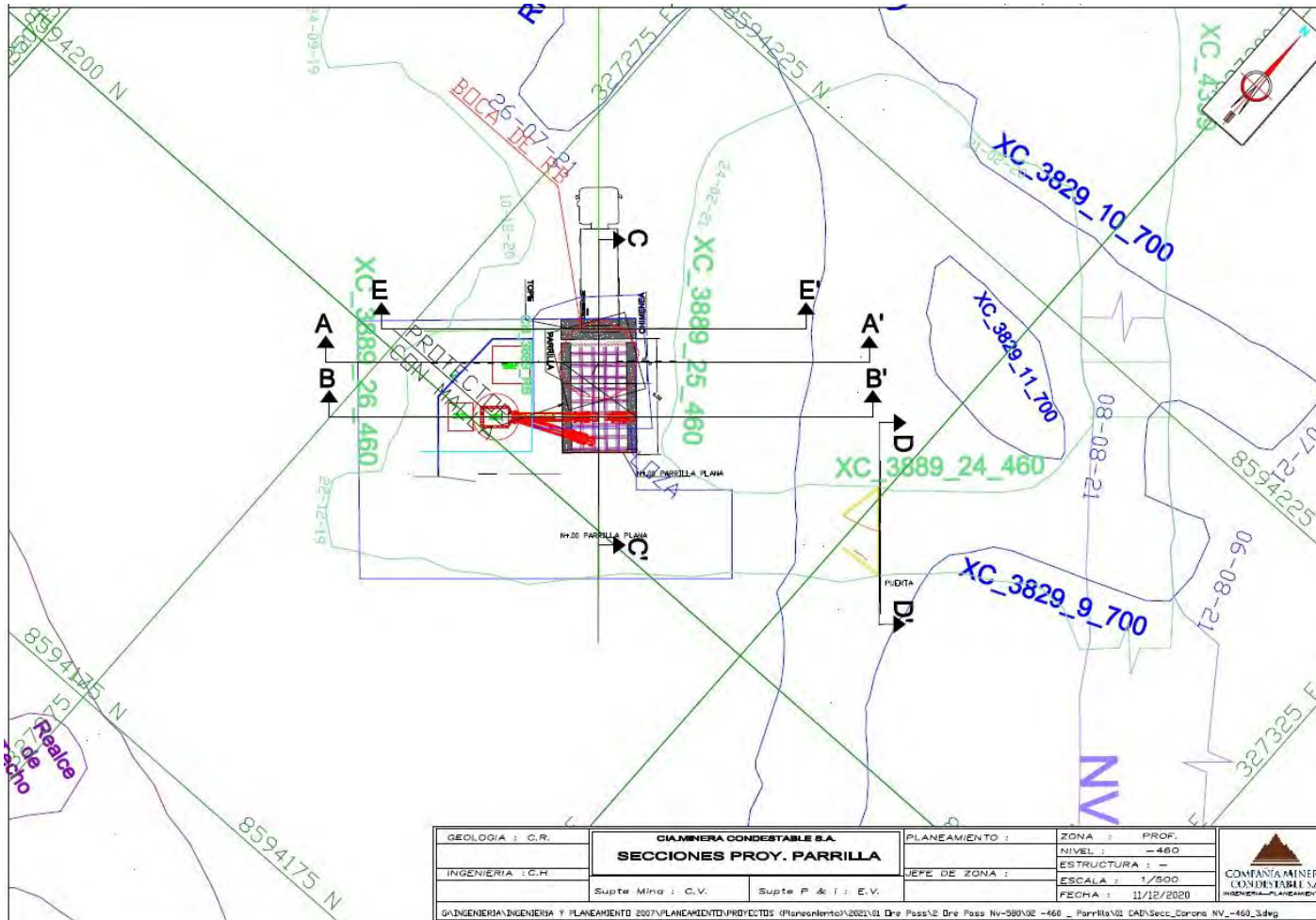
Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 33. Proyecto: Parrilla nv-460



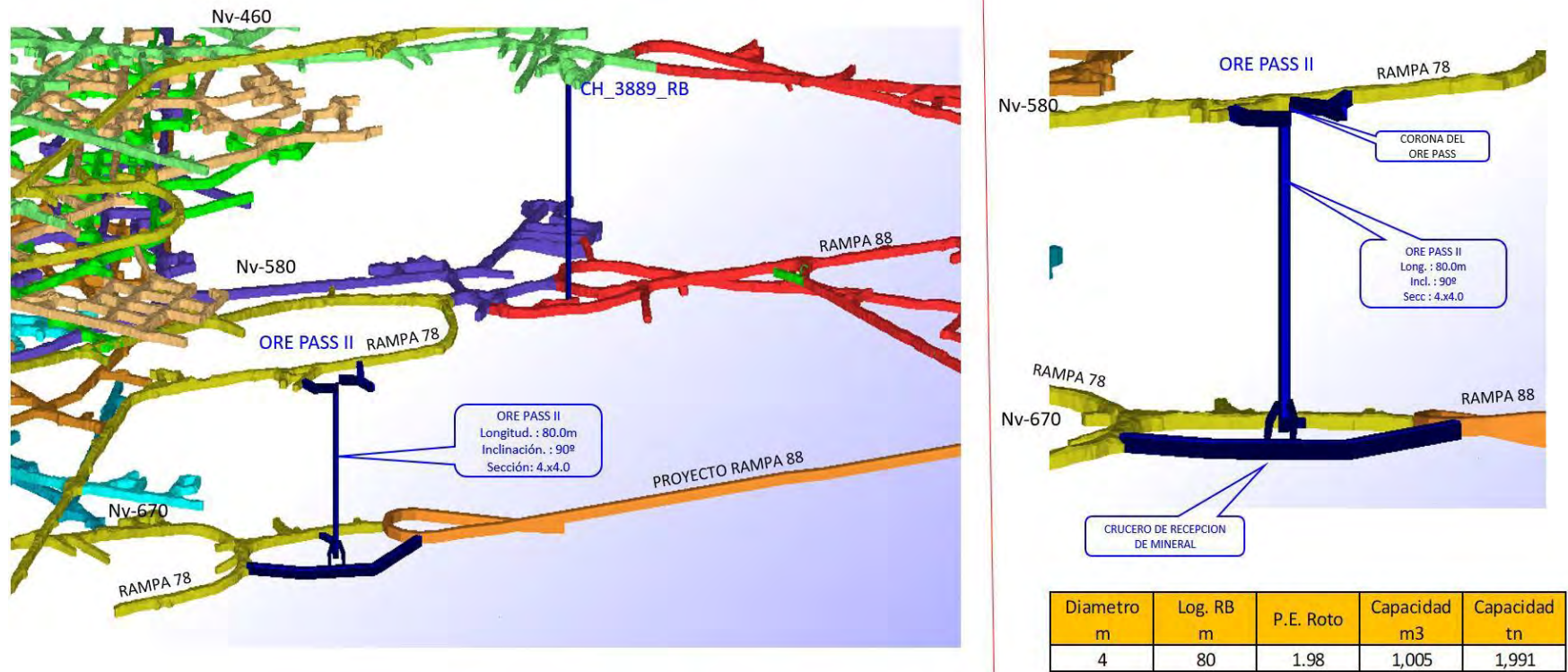
Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 34. Proyecto: Parrilla nv-460 vista Planta



Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 35. Proyecto: Ore Pass nv-580 al 700



Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

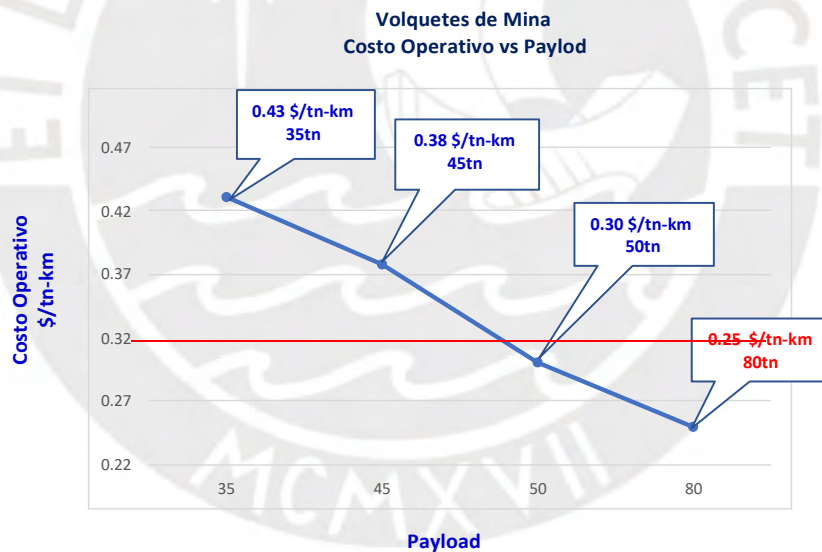
Figura 36. Proyecto: Ore Pass nv-580 al 700

Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

2.3 Características técnicas del Volquete Carreta de 80 Ton (Scania)

El Volquete Carreta de 80 Ton (Scania) aporta los siguientes beneficios a la Mina Condestable: reducción costos, uso menor del número de unidades, menor generación de CO y reducción de temperatura.

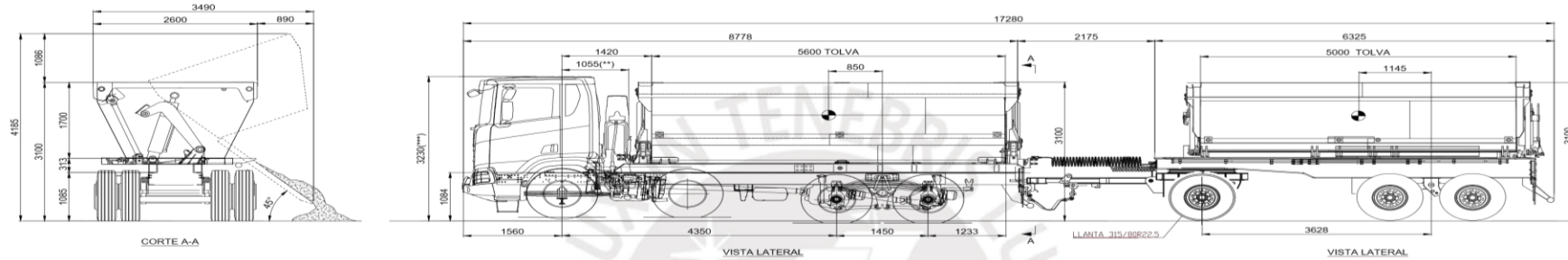
Figura 37. Costos operativos Vs Payload



Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Este tipo de camión se caracteriza por poseer una longitud total de 17023 cm, compuesto por un tracto que mide 9129 de longitud total, y una carreta con una longitud de remolque de 6583. El Scania R620 8 x 4 Hevy Tipper posee: doble tolva, 110 tn arrastre y 80 tn neto de carga. El volquete de doble tolva será cargado desde un ore pass. A continuación, se especifican las características técnicas del Volquete Carreta de 80 Ton (Scania):

Figura 38. Características técnicas del Volquete Carreta de 80 Ton (Scania)



| VOLQUETE TOLVA | | | |
|---------------------------------|----------|----------|-------|
| | E.D. | E.P. | TOTAL |
| | (kg) | (kg) | (kg) |
| PESO DE CHASIS | 8521 | 4537 | 13058 |
| PESO DE CARROCERIA | 1531 | 5769 | 7300 |
| TOTAL SIN CARGA | 10052 | 10306 | 20358 |
| CARGA | 8243 | 31757 | 40000 |
| TOTAL CON CARGA | 18295 | 42063 | 60358 |
| PBV TECNICO (Capacidad Técnica) | 20000 | 36000 | 56000 |
| SOBRE CARGA TECNICA | Kg -1705 | 6063 (*) | 4358 |
| | % -8.5% | 16.8% | 7.8% |

| RESUMEN VOLQUETE-TOLVA | |
|------------------------|------------------------|
| VOLUMEN UTIL | 20.0 m ³ |
| DENSIDAD DE CARGA | 2000 kg/m ³ |
| PESO DE LA CARROCERIA | 7300 kg |
| PESO CHASIS | 13058 kg |
| PESO CARGA | 40000 kg |
| TOTAL | 60358 kg |

| REMOLQUE TOLVA | | | |
|-------------------------|--------|-------|-------|
| | E.D. | E.P. | TOTAL |
| | (kg) | (kg) | (kg) |
| PESO REMOLQUE | 2616 | 4284 | 6900 |
| PESO SUSP. Y EJE_LLANTA | 1150 | 2150 | 3300 |
| CARGA | 9576 | 20424 | 30000 |
| TOTAL CON CARGA | 13341 | 26859 | 40200 |
| Capacidad Técnica | 13400 | 26800 | 40200 |
| Diferencia | -59 | 59 | 0 |
| Sobrecarga | -0.4 % | 0.2 % | |

| RESUMEN REMOLQUE-TOLVA | |
|------------------------|------------------------|
| VOLUMEN NOMINAL | 16 m ³ |
| VOLUMEN UTIL | 15 m ³ |
| DENSIDAD | 2000 Kg/m ³ |
| PESO DEL REMOLQUE | 10200 kg |
| PESO CARGA | 30000 kg |
| TOTAL | 40200 kg |

NOTA:

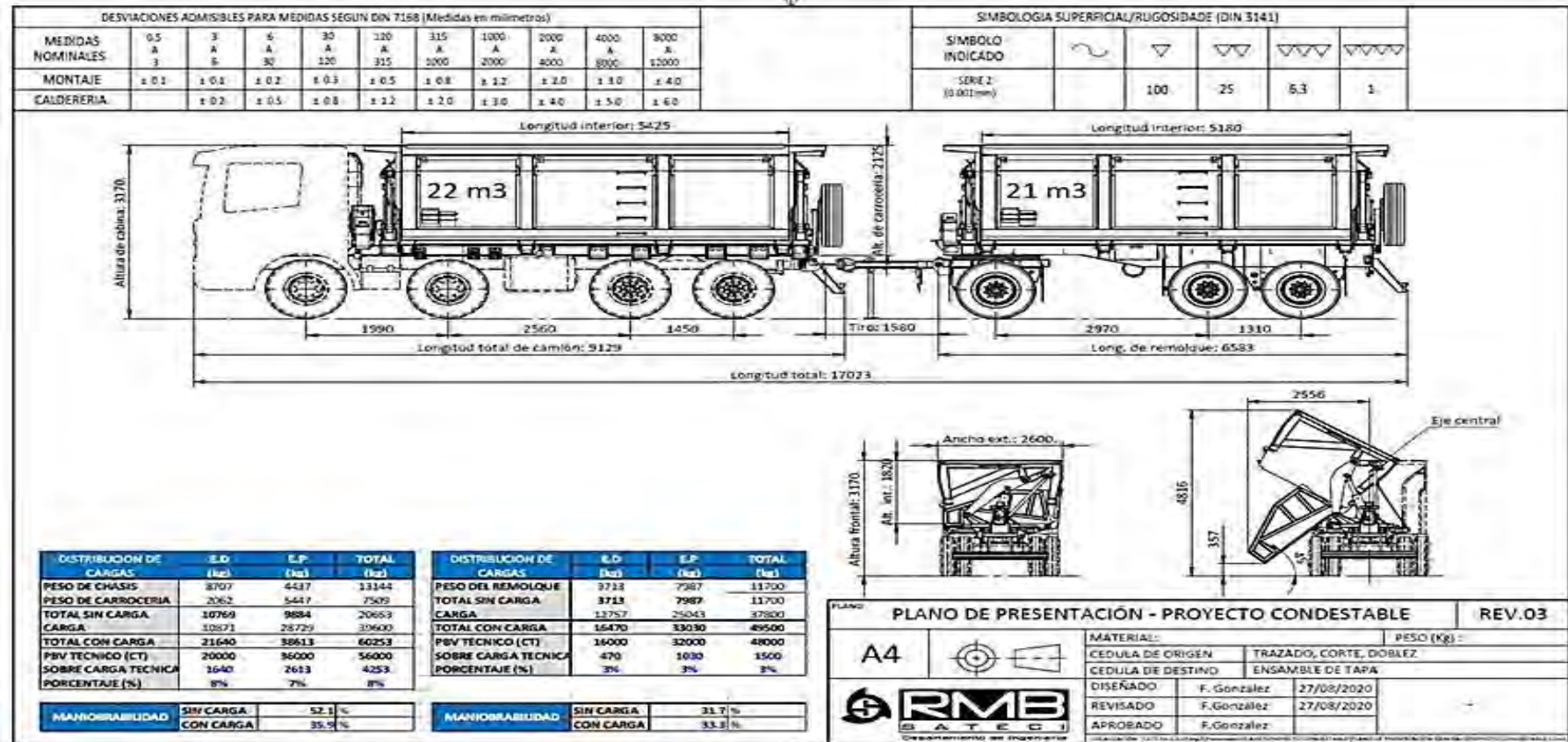
- (*) Existe una sobre carga tecnica de 6063Kg en el eje posterior.
- (**) Distancia verificada segun plano enviado por el cliente.
- (***) Segun plano enviado por el cliente.

| DESVIACIONES PERMITIDAS SEGUN NTS-T-05 | | | |
|--|-----------------|-----------------------|----------------------|
| Angulo de Volteo | +1° | Capacidad Volumétrica | +3 % Volumen Nominal |
| Peso Seco | +5 % Peso Total | | -0 % Volumen Nominal |
| NOTA: Plano referencial, puede no corresponder con el aspecto final de la unidad Dimensiones y ubicación de accesorios sujetas a validación, pueden variar sin previo aviso | | | |

| | | | |
|--------------|---|----------|-------------|
| Proyecto | Volquete Volt. Lateral 20m3 + Remolque 3 jes Volt. Lateral 16m3 | | |
| | SCANIA 8x4 | | |
| Plano | PLANO DE PRESENTACION | | |
| | Nombre | Fecha | Firma |
| Dibujado | S. Llamocca | 07/08/19 | |
| Revisado | S. Llamocca | 07/08/19 | |
| Aprobado | G. Garcia | 07/08/19 | |
| Nº Solicitud | --- | | |
| | | | REV-00 |
| | | | Hoja 1 de 1 |

Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 39. Características técnicas del Volquete Carreta de 80 Ton (Scania)



Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

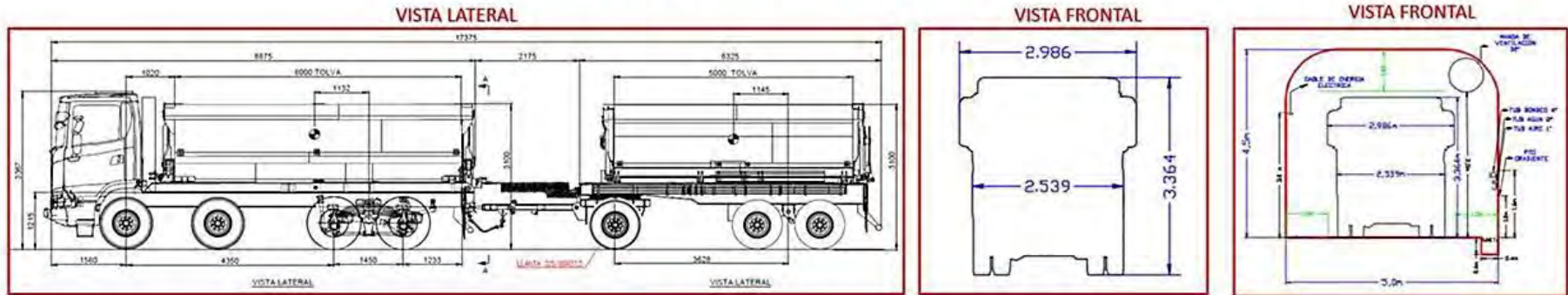
Figura 40. Características técnicas del Volquete Carreta de 80 Ton (Scania)



Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 41. Características técnicas del Volquete Carreta de 80 Ton

VOLQUETE 20m³ + REMOLQUE 16 m³

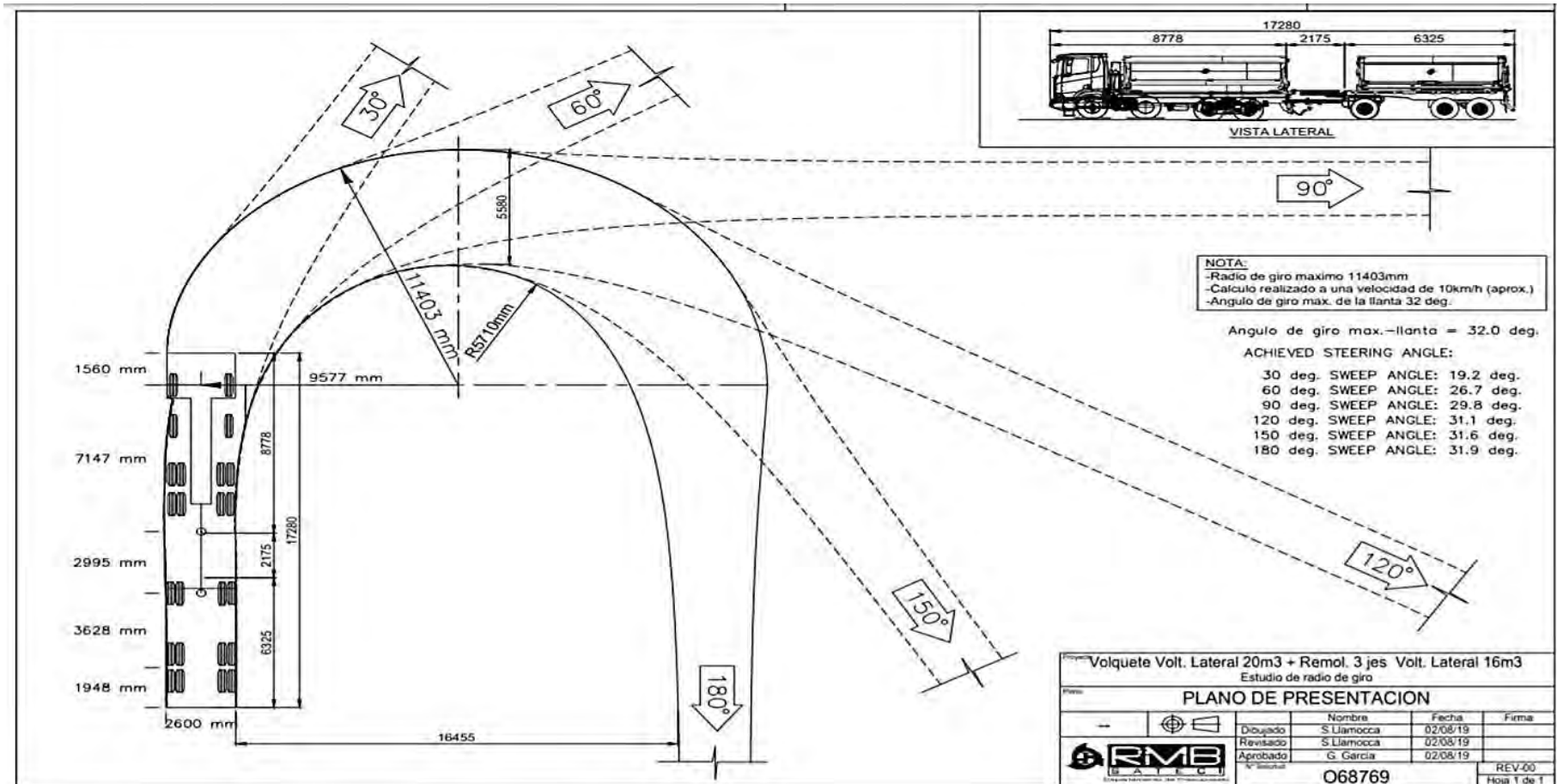


VOLQUETE SCANIA 8 X 4



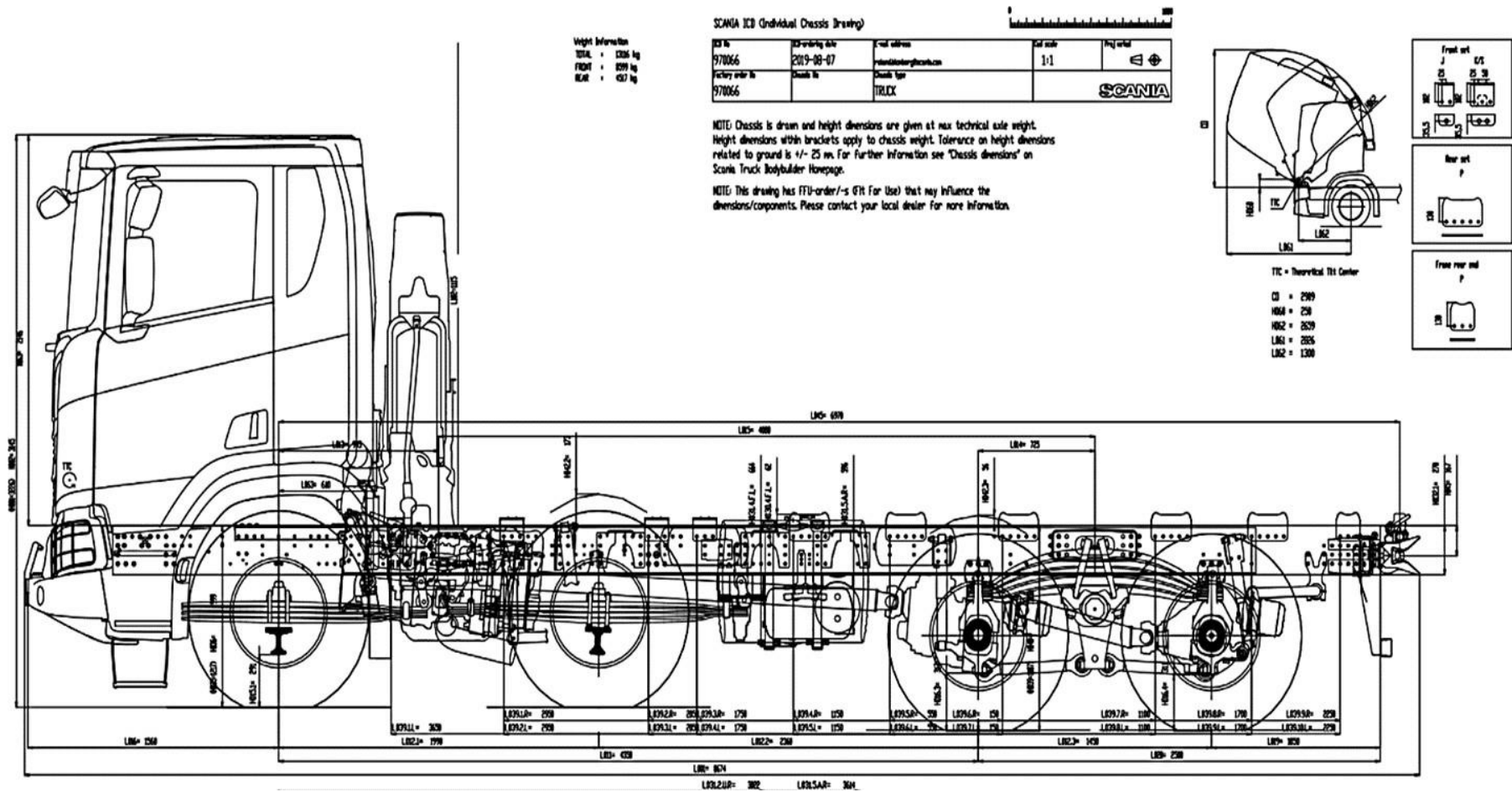
Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 42. Radio de giro



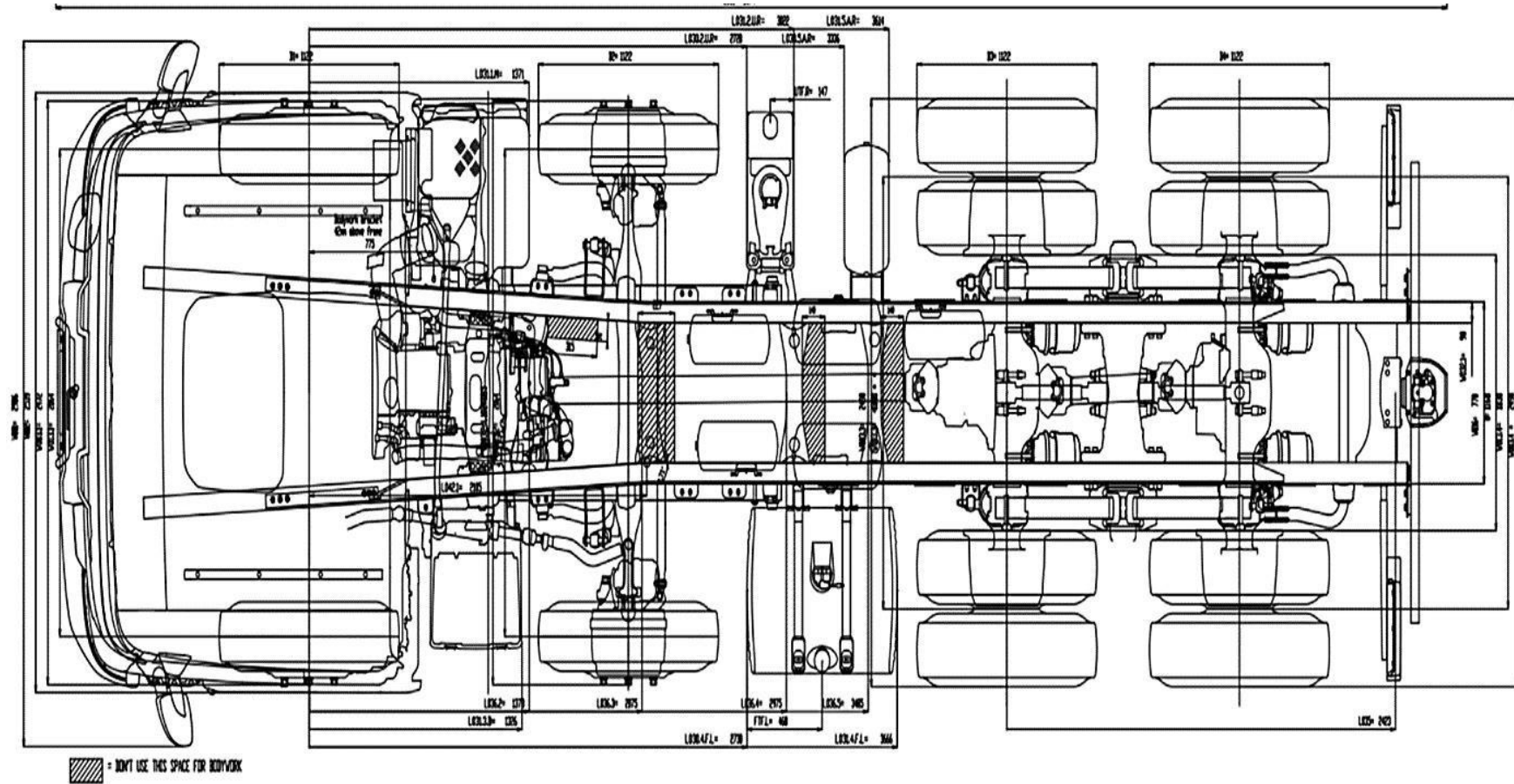
Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 43. Características técnicas del Volquete Carreta de 80 Ton



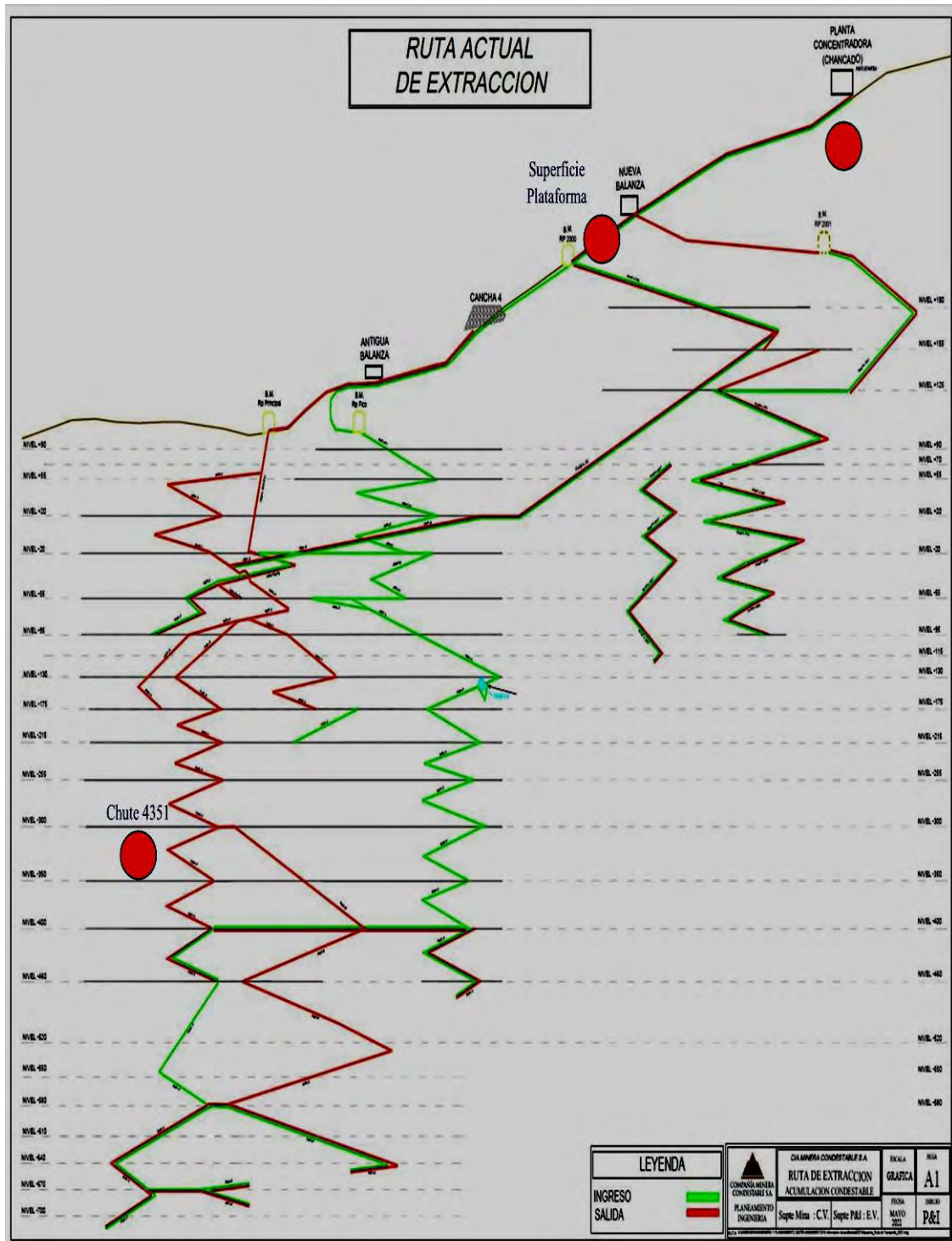
Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 44. Características técnicas del Volquete Carreta de 80 Ton



Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 45. Ruta de Transporte: Chute 4351 Nv 350 –Superficie Plataforma – Chancado



Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

2.4 Flujo de Transporte

Con la implementación del uso del volquete de doble tolva el nuevo flujo de transporte inicia con el ingreso por la rampa 2000, luego por la rampa 89, después toma la rampa 75, rampa 76, rampa 78 y finalmente la rampa 88. Cabe mencionar que una vez implementado la flota del volquete de doble tolva esta ruta será exclusiva para el transporte de dicho volquete. La ruta es tanto para el ingreso como la salida.

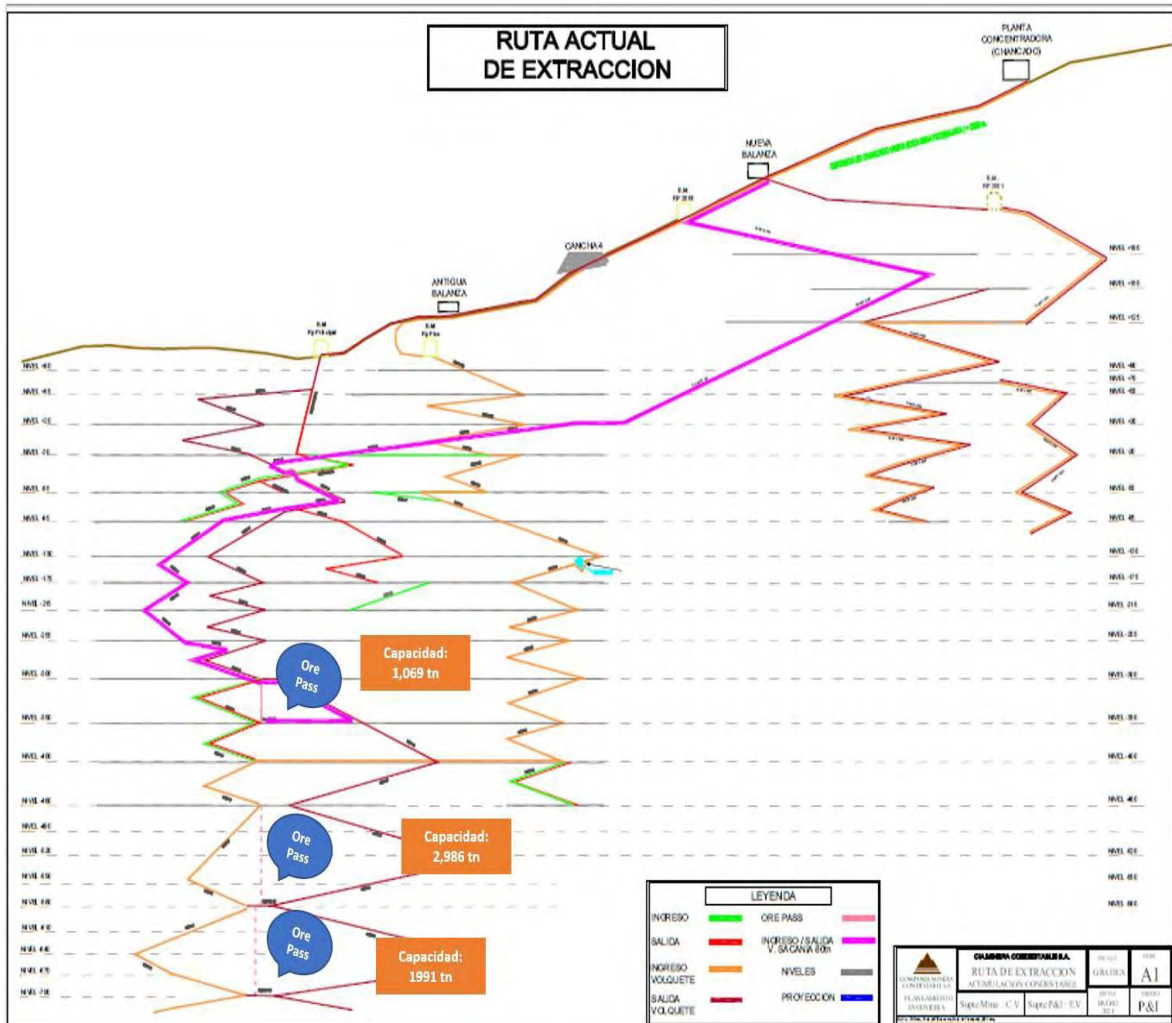
La distancia que recorrerá el volquete de doble tolva es el mismo de subida y bajada, es decir, la ruta de ingreso y salida es la misma para ambos casos. La distancia del chancado (superficie) al Op en el nv-350 es de 6.84 km, asimismo para el nv-580 es de 8.53km y finalmente la distancia del chancado al nv-700 hay una distancia de 9.3km. Se ha determinado que la ruta de superficie – rpa 89 – rpa 76 hasta llegar al nv-350 es una donde solo transitará el volquete de doble tolva, eso quiere decir que los demás equipos de transportes usarán diferentes rutas para el ingreso y salida desde superficie hasta nv-350. Luego, se tienen rutas compartidas en ingresos y salidas desde el nv-350 hasta el nv-730 y los mismo para la proyección de rutas hasta el nv-880.

La implementación del uso del volquete de doble tolva solo aplica a partir del nv-300 hacia los niveles inferiores y la nueva ruta quedaría de la siguiente manera:

- Zona de extracción – Ore Pass: volquetes de 45 tn
- Ore Pass – Chancado: volquetes de 80 tn

Para los niveles superiores a partir del nv-300 y la zona Condestable, la extracción del mineral se realizará mediante los volquetes de 45 tn.

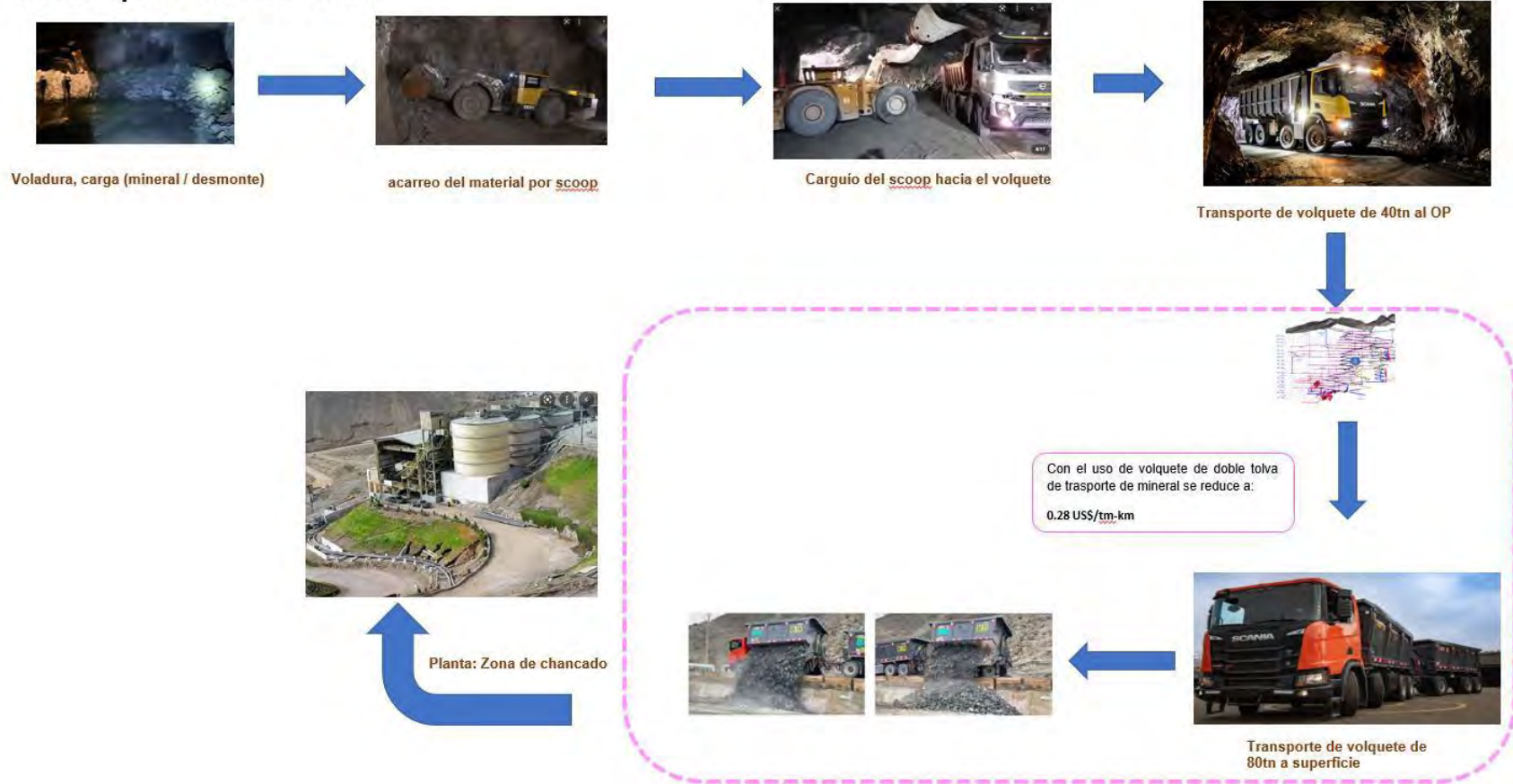
Figura 46. Ruta de ingreso salida del volquete de doble tolva



Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Figura 47. Ciclo de acarreo, carguío y transporte del volquete de doble tolva

Ciclo de acarreo, carguío y **transporte**
Con Volquete de doble tolva



Fuente: Elaboración propia

Resultados:

De acuerdo con los datos obtenidos en campo, se ha realizado un comparativo de escenarios; el primero de ellos, es que la empresa viene ejecutando el cual se denominará “escenario actual” y el segundo, es la implementación del uso del volquete de doble tolva el cual se denominará “escenario 80 tn”. Es necesario mencionar que, el escenario de 80 tn es la combinación de la flota de 80 tn y flota requerida de 45 tn para el traslado de mineral de los tajos a los OP nv-350, nv-580 y nv-700, así como los volquetes que serán utilizados para el transporte de mineral de la zona Condestable y zona Raúl en los niveles desde nv+195 a nv-255 en los cuales no se hará uso del volquete de doble tolva.

Asimismo, la producción con el que se ha calculado del análisis proviene del informe realizado por la empresa Bisa Ingenieros el cual detalla la distribución de la explotación por años, zonas y niveles. Para el análisis se ha tomado el P.U. con el que se viene trabajando para el escenario actual, mientras que para el escenario de 80 tn se ha trabajado con el P.U. actualizado. Esta actualización del P.U. se debe a que los KPIs del P.U inicial están por debajo de los KPIs obtenidos en campo. Es así que el área de costos actualizó en conjunto con la empresa CNSAC el nuevo P.U. llegando a un costo unitario de 0.283\$/tn-km, esto es 0.033\$/tn-km con respecto al de 0.25\$/tn-km utilizados con los PKI inicial, ahora para determinar la distancia a recorrer se ha tomado distancias promedias de los cargadores de interior mina hacia la zona de chancado.

Según los resultados conseguidos en campo, se puede determinar que con la implementación del uso del volquete de doble tolva se tiene un ahorro del 15.6% con respecto al costo actual de transporte de mineral. Como se puede apreciar en las tablas 9 y 10.

Tabla 9. Comparativo de Costos Escenario 45 tn vs Escenario 80 tn para el periodo 2022- 2029

| Costo Transporte de mineral | | | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | Total |
|---|----------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Escenario actual | Costo total | USD | 5,266,059 | 7,538,463 | 8,996,830 | 8,818,447 | 9,460,113 | 9,920,115 | 9,809,357 | 7,136,965 | 66,946,349 |
| | Costo Unitario | \$/tn | 2.02 | 2.43 | 2.56 | 2.52 | 2.70 | 2.83 | 2.79 | 2.88 | |
| Escenario 80 tn volquete doble tolva | Costo total | USD | 4,659,121 | 6,338,511 | 7,724,589 | 7,507,144 | 7,931,363 | 8,158,585 | 8,206,369 | 5,998,453 | 56,524,135 |
| | Costo Unitario | \$/tn | 1.79 | 2.05 | 2.20 | 2.15 | 2.27 | 2.33 | 2.34 | 2.42 | |
| Variación | | USD | 606,938 | 1,199,952 | 1,272,241 | 1,311,303 | 1,528,750 | 1,761,530 | 1,602,988 | 1,138,512 | 10,422,214 |
| | | \$/tn | 0.23 | 0.39 | 0.36 | 0.37 | 0.44 | 0.50 | 0.46 | 0.46 | |

Fuente: Observación directa, 2021

Figura 48. Comparativo de Costos Escenario 45 tn vs Escenario 80 tn para el periodo 2022- 2029



Fuente: Observación directa, 2021

Tabla 10. Comparativo de Costos Escenario 45 tn vs Escenario 80 tn para el periodo 2022- 2029

| Año Producción | Produccion Tn | Distancia Km | P.U. | | Costo Total | | Costo Transporte Mineral | |
|-------------------|-------------------|-----------------|------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------------|-------------|
| | | | \$/tn-km | | USD | | \$/tn | |
| | | | Esc_actual | Esc_80 tn | Esc_actual | Esc_80 tn | Esc_actual | Esc_80 tn |
| 2022 | 2,602,306 | 5.35 | 0.38 | 0.34 | 5,266,059 | 4,659,121 | 2.02 | 1.79 |
| 2023 | 3,098,489 | 5.35 | 0.38 | 0.32 | 7,538,463 | 6,338,511 | 2.43 | 2.05 |
| 2024 | 3,510,011 | 6.44 | 0.38 | 0.33 | 8,996,830 | 7,724,589 | 2.56 | 2.20 |
| 2025 | 3,499,496 | 6.78 | 0.38 | 0.33 | 8,818,447 | 7,507,144 | 2.52 | 2.15 |
| 2026 | 3,499,958 | 6.67 | 0.38 | 0.32 | 9,460,113 | 7,931,363 | 2.70 | 2.27 |
| 2027 | 3,500,046 | 7.15 | 0.38 | 0.31 | 9,920,115 | 8,158,585 | 2.83 | 2.33 |
| 2028 | 3,510,300 | 7.50 | 0.38 | 0.32 | 9,809,357 | 8,206,369 | 2.79 | 2.34 |
| 2029 | 2,478,494 | 7.39 | 0.38 | 0.32 | 7,136,965 | 5,998,453 | 2.88 | 2.42 |
| Total | 25,699,098 | 7.62 | | | 66,946,349 | 56,524,135 | 2.61 | 2.20 |

| | | |
|-------------|-------|------------|
| Variación | USD | 10,422,214 |
| Esc 80tn vs | \$/tn | 0.41 |

| | |
|--------|--------------|
| Ahorro | 15.6% |
|--------|--------------|

Escenarios de Flujo de caja técnico económico para el volquete de doble tolva periodo 2022-2029:

Para el análisis de flujo de caja técnico económico se ha realizado bajo tres escenarios con las tasas de descuento de 10%, 12% y 15%. Cabe mencionar que la empresa para sus proyectos de inversión considera una tasa de descuento del 12%.

VAN= 4,606,699 @ 10%

VAN= 4,111,686 @ 12%

VAN= 3,468,695 @ 15%

Tabla 11. Tasa de descuento 10%

| | | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 |
|---------------------------|-----|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Costo escenario actual | USD | | 5,266,059 | 7,538,463 | 8,996,830 | 8,818,447 | 9,460,113 | 9,920,115 | 9,809,357 | 7,136,965 |
| Costo escenario volq-80tn | USD | | 4,659,121 | 6,338,511 | 7,724,589 | 7,507,144 | 7,931,363 | 8,158,585 | 8,206,369 | 5,998,453 |
| Inversion: | | | | | | | | | | |
| Rampa de acceso | USD | 625,800 | | | | | | | | |
| OP 580 | USD | 621,688 | 150,000 | | | | | | | |
| OP 700 | USD | | 771,848 | | | | | | | |
| Ahorro | | -1,247,488 | -314,910 | 1,199,952 | 1,272,241 | 1,311,303 | 1,528,750 | 1,761,530 | 1,602,988 | 1,138,512 |

VAN 4,606,699
Tasa de descuento 10%

Fuente: Observación directa, 2021

Tabla 12. Tasa de descuento 12%

| | | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 |
|---------------------------|-----|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Costo escenario actual | USD | | 5,266,059 | 7,538,463 | 8,996,830 | 8,818,447 | 9,460,113 | 9,920,115 | 9,809,357 | 7,136,965 |
| Costo escenario volq-80tn | USD | | 4,659,121 | 6,338,511 | 7,724,589 | 7,507,144 | 7,931,363 | 8,158,585 | 8,206,369 | 5,998,453 |
| Inversion: | | | | | | | | | | |
| Rampa de acceso | USD | 625,800 | | | | | | | | |
| OP 580 | USD | 621,688 | 150,000 | | | | | | | |
| OP 700 | USD | | 771,848 | | | | | | | |
| Ahorro | | -1,247,488 | -314,910 | 1,199,952 | 1,272,241 | 1,311,303 | 1,528,750 | 1,761,530 | 1,602,988 | 1,138,512 |

VAN 4,111,686
Tasa de descuento 12%

Fuente: Observación directa, 2021

Tabla 13. Tasa de descuento 15%

| | | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 |
|---------------------------|-----|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Costo escenario actual | USD | | 5,266,059 | 7,538,463 | 8,996,830 | 8,818,447 | 9,460,113 | 9,920,115 | 9,809,357 | 7,136,965 |
| Costo escenario volq-80tn | USD | | 4,659,121 | 6,338,511 | 7,724,589 | 7,507,144 | 7,931,363 | 8,158,585 | 8,206,369 | 5,998,453 |
| Inversion: | | | | | | | | | | |
| Rampa de acceso | USD | 625,800 | | | | | | | | |
| OP 580 | USD | 621,688 | 150,000 | | | | | | | |
| OP 700 | USD | | 771,848 | | | | | | | |
| Ahorro | | -1,247,488 | -314,910 | 1,199,952 | 1,272,241 | 1,311,303 | 1,528,750 | 1,761,530 | 1,602,988 | 1,138,512 |

VAN 4,606,699
Tasa de descuento 10%

Es importante mencionar que para el flujo de caja técnico económico no se ha considerado los costos del OP del nivel 350 debido a que este se encontraba ejecutado antes del proyecto piloto.

2.5 Indicadores con el uso del volquete de doble tolva (velocidad, distancia, tn/viaje, cantidad de viajes)

Según los datos recopilados en campo, se ha podido determinar la cantidad de viajes desde el nv-350 a Nueva Balanza. Con la data obtenida, se ha realizado el cálculo para obtener la cantidad de viajes en los nv-580 y nv-700.

Es preciso mencionar que, el rendimiento del volquete de doble tolva es menor al esperado, ya que según los resultados en campo se ha obtenido un rendimiento de 72tn/viaje, 3 tn/viaje menos con respecto 75tn/viajes esperados, esto ha sido un impacto significativo en el reajuste del P.U.

Tabla 14. KPI volquete de doble tolva nv-350

| | | Velocidad Km/hr | Distancia km | Tiempo hr | Tiempo min | Carguo min | Descarga min | Pesaje min | Total - Tiempo min | tn | Combus |
|--------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------------|----|--------|
| Subida | Vel-Cargado Rpa | 8.11 | 5.56 | 0.72 | 42.99 | | | | | | |
| | Vel-Cargado Hz | 12.76 | 0.45 | 0.04 | | | | | | | |
| Bajada | Vel-Vacio-Rpa | 17.58 | | | | | | | | | |

Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

El recorrido del volquete ha sido dividido de la siguiente manera, con el objetivo de calcular posteriormente su velocidad:

Bajada (sin carga)

- Superficie: Nueva Balanza - Bocamina.

- Interior mina: Bocamina – Ore pass nv -350

Subida (con carga)

- Interior mina: Ore pass nv -350 - Bocamina
- Superficie: Bocamina – Nueva Balanza

Distancias recorridas

Las distancias recorridas por el volquete de doble tolva, fueron solicitadas y proporcionadas por el Área de Planeamiento:

Bajada (sin carga)

- Nueva Balanza – Ore pass nv -350 6 km

Subida (con carga)

- Ore pass nv -350 - Nueva Balanza 6 km

Tiempo: En base a la Data de productividad se ha calculado el Ciclo de Transporte al volquete de doble tolva:

- Tiempo de carguío (Interior Mina Chute 4351) = 2.24 min
- Tiempo de pesaje (Nueva Balanza) = 2.22 min
- Tiempo de descarga (Superficie Plataforma) = 1.48 min
- Superficie – Boca mina – Ore pass 350 = 1.1 h

Velocidades calculadas:

Superficie:

- Velocidad de bajada (vacío) = 23.07 km/h
- Velocidad de subida (cargado) = 12.76 km/h

Interior mina:

- Velocidad de bajada (vacío) = 17.58 km/h
- Velocidad de subida (cargado) = 8.11 km/h

Según los datos obtenidos en campo y brindados por el Área de Productividad se ha realizado el cálculo para proyectar y determinar los KPI's en los nv-580 y nv-700.

Tabla 15. KPI volquete de doble tolva nv-580

| OP-580 | | Velocidad Km/hr | Distancia km | Tiempo hr | Tiempo min | Carguio min | Descarga min | Pesaje min | Total - Tiempo | | tn tn/viaje | Viajes día |
|--------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|------|----------------|---------------|
| | | | | | | | | | min | hr | | |
| Subida | Vel-Cargado Rpa | 8.11 | 7.26 | 0.89 | 53.69 | 2.24 | 1.48 | 2.22 | 87.64 | 1.46 | 72 | 8 |
| | Vel-Cargado Hz | 12.76 | 0.45 | 0.03 | 2.09 | | | | | | | |
| Bajada | Vel-Vacío-Rpa | 17.58 | 7.26 | 0.41 | 24.76 | | | | | | | |
| | Vel-Vacío- Hz | 23.07 | 0.45 | 0.02 | 1.16 | | | | | | | |

Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Tabla 16. KPI volquete de doble tolva nv-580

| OP-700 | | Velocidad Km/hr | Distancia km | Tiempo hr | Tiempo min | Carguio min | Descarga min | Pesaje min | Total - Tiempo | | tn tn/viaje | Viajes día |
|--------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|------|----------------|---------------|
| | | | | | | | | | min | hr | | |
| Subida | Vel-Cargado Rpa | 8.11 | 8.03 | 0.99 | 59.39 | 2.24 | 1.48 | 2.22 | 95.98 | 1.60 | 72 | 7 |
| | Vel-Cargado Hz | 12.76 | 0.45 | 0.03 | 2.09 | | | | | | | |
| Bajada | Vel-Vacío-Rpa | 17.58 | 8.03 | 0.46 | 27.40 | | | | | | | |
| | Vel-Vacío- Hz | 23.07 | 0.45 | 0.02 | 1.16 | | | | | | | |

Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Una vez definidos los KPI's del volquete de doble tolva para los diferentes niveles donde serán ubicados los OP, el siguiente paso es realizar el cálculo para determinar la flota que se va a requerir tanto para el escenario actual con los volquetes de 45 tn y para el escenario del uso del volquete de doble tolva para luego realizar el comparativo de la evaluación económica, para determinar la evaluación se ha utilizado las reservas para el LOM del último cálculo realizado por BISA.

Tabla 17. Producción Proyectada Condestable 2021 – 2029 (LOM)

| | | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | Total |
|-------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Condestable | | 769,371 | 910,769 | 1,053,771 | 772,813 | 300,322 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,807,046 |
| Raúl | nv+195- nv-255 | 334,951 | 834,370 | 526,057 | 1,139,040 | 1,545,499 | 1,594,301 | 1,346,586 | 1,291,820 | 1,003,762 | 9,616,386 |
| Raúl | nv-300 - nv-400 | 310,176 | 211,393 | 391,297 | 456,014 | 422,312 | 506,437 | 417,736 | 935,316 | 385,264 | 4,035,946 |
| Raúl | nv-460 - nv-580 | 726,966 | 582,817 | 626,175 | 408,287 | 572,233 | 483,942 | 581,248 | 525,462 | 363,544 | 4,870,674 |
| Raúl | nv-610 - nv-880 | 81,133 | 62,956 | 501,189 | 733,857 | 659,130 | 915,278 | 1,154,475 | 757,703 | 725,924 | 5,591,645 |
| Total | | 2,222,598 | 2,602,306 | 3,098,489 | 3,510,011 | 3,499,496 | 3,499,958 | 3,500,046 | 3,510,300 | 2,478,494 | 27,921,696 |

Fuente: Bisa Ingenieros

Para el cálculo utilizaremos la producción 20022 – 2029 del LOM desarrollado por Bisa Ingenieros, asimismo de acuerdo con los días efectivos de trabajo para cada año considerados en el cálculo del LOM, se determina la producción por día (tn/día). Para el análisis no se tomará en cuenta el año 2021 debido a que en ese año solo se está

aplicando el piloto del volquete y la flota se tiene proyectada implementar a partir del año 2022.

Tabla 18. Producción Proyectada Condestable 2022 – 2029 (LOM)

Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Cálculo de Flota:

Escenario actual: volquetes de 45 tn

Para el cálculo de volquetes de 45 tn se ha tomado los datos de KPI's de los volquetes de 45 tn proporcionados por el Área de Productividad.

Tabla 19. KPI's promedio volquete 45 tn

| | | Velocidad Km/hr | Distancia km | hr | tn tn/viaje | Combustible gal/hr | Viajes día | tn/día |
|--------|-----------------|--------------------|-----------------|------|----------------|-----------------------|---------------|--------|
| Subida | Vel-Cargado Rpa | 10.04 | 7.86 | 1.83 | 42 | 6.4 | 9 | 367 |
| | Vel-Cargado Hz | 10.98 | 2.38 | | | | | |
| Bajada | Vel-Vacío-Rpa | 20.91 | 10.45 | | | | | |
| | Vel-Vacío- Hz | 23.08 | 2.31 | | | | | |

Fuente: Área de Productividad, Compañía Minera Condestable, S.A.

En base a la producción estimada por el LOM, se ha podido determinar que las distancias promedio del recorrido de la flota y también se ha determinado que la flota se incrementará a medida que pasen los años, esto debido a que las distancias cada vez son mayores con respecto a los años anteriores.

Tabla 20. Cálculo de volquetes para flota de 45 tn: Escenario 45 tn

| | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Flota volquetes de 45 tn (und) | 20 | 24 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 26 |
| Producción (tn/año) | 2,602,306 | 3,098,489 | 3,510,011 | 3,499,496 | 3,499,958 | 3,500,046 | 3,510,300 | 2,478,494 |
| Km | 5.35 | 6.44 | 6.78 | 6.67 | 7.15 | 7.50 | 7.39 | 7.62 |

Fuente: Observación directa, 2021

Escenario volquete de doble tolva: volquetes de 80 tn

Entonces para el escenario del volquete de doble tolva y teniendo en cuenta la nueva ruta para los volquetes de 80 tn se ha determinado la flota requerida para trasladar el mineral del Ore pass a Nueva Balanza desde los nv-350, nv-580, nv-700, asimismo, se realizará el cálculo de la flota de volquetes de 45 tn que trasladan el mineral de Condestable y Raúl.

Es preciso mencionar que, para el transporte de mineral con el volquete de doble tolva, se va a requerir volquetes de 45 tn. Esto se debe a que en la zona de Condestable y la zona alta de Raúl (nv+195 nv-255) el mineral será transportado por medio de los volquetes actuales. Para el mineral desde el nv-350 al nv-880 será transportado por el volquete de doble tolva; mientras que, los volquetes de 45 tn alimentarán a los OP desde la zona de extracción del tajo a los OP ubicados en Nv350, nv-580 y nv-700.

Tabla 21. Cálculo de flota escenario doble tolva: flota para volquetes de 80 tn y 45 tn.

| Calculo de Flota 80 tn | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| nv-300 - nv-400 | 0.9 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | |
| nv-460 - nv-580 | 3.1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | | |
| nv-610 - nv-880 | | 3 | 4 | 4 | 5 | 7 | | |
| Total | 4 | 8 | 8 | 9 | 10 | | | |

| Calculo de Flota 45tn | 2022 | 2023 | 2024 |
|-----------------------|------|------|------|
| Condestable | 7 | 8 | 6 |
| nv+195 - nv -255 | 7 | 4 | |
| nv-300 - nv-400 | 1 | | |
| nv-460 - nv-580 | 1 | | |
| nv-610 - nv-880 | | | |
| Tota | | | |

Producció
Km

Fuente: Observación directa, 2021

Consumo de Combustible:

De acuerdo con los datos obtenidos en campo y proyección, se ha determinado el consumo de combustible tanto para la flota de 80 tn como para la flota de 45 tn

**Tabla 22. Consumo de combustible para el escenario de 80 tn y 45 tn
Condestable periodo 2022 – 2029**

| Escenario doble tolva (volquete 80tn) | | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 |
|---------------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Flota | Volquetes 80 tn | 4 | 8 | 8 | 9 | 10 | 12 | 11 | 10 |
| | Volquetes 45 tn | 16 | 15 | 17 | 17 | 16 | 14 | 13 | 14 |
| Consumo | gal/día (80tn) | 469 | 927 | 981 | 1,017 | 1,179 | 1,355 | 1,316 | 1,212 |
| Combustible | gal/día (40tn) | 1,641 | 1,505 | 1,796 | 1,750 | 1,602 | 1,462 | 1,370 | 1,402 |
| Combustible | gal/día | 2,110 | 2,432 | 2,776 | 2,766 | 2,781 | 2,817 | 2,685 | 2,614 |
| Escenario actual (volquete 45tn) | | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 |
| Flota | Volquetes 45 tn | 20 | 24 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 26 |
| Combustible | gal/día (40tn) | 2,080 | 2,477 | 2,798 | 2,798 | 2,798 | 2,798 | 2,798 | 2,627 |

Fuente: Observación directa, 2021

Cálculo de P.U.:

Teniendo definidos los parámetros a utilizar para el cálculo del P.U. tales como KPI's, producción, distancias, se ha determinado el cálculo de los P.U. en los escenarios del volquete de 45 tn y el volquete de 80 tn (doble tolva).

Se puede determinar que con la implementación del uso del volquete de doble tolva se tendría un ahorro del USD 10,422,213 para el periodo 2022-2029. Este ahorro no contempla la inversión realizada. A continuación, se detalla el resultado del cálculo de P.U. en ambos escenarios.

Tabla 23. Programa de Producción 2022-2029

| | | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | Total |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| | | tn | tn | tn | tn | tn | tn | tn | tn | tn |
| Condestable | | 910,769 | 1,053,771 | 772,813 | 300,322 | | | | | 3,037,675 |
| Raúl | nv+195 - nv -255 | 834,370 | 526,057 | 1,139,040 | 1,545,499 | 1,594,301 | 1,346,586 | 1,291,820 | 907,081 | 9,184,754 |
| Raúl | nv-300 - nv-400 | 211,393 | 391,297 | 456,014 | 422,312 | 506,437 | 417,736 | 935,316 | 298,922 | 3,639,427 |
| Raúl | nv-460 - nv-580 | 582,817 | 626,175 | 408,287 | 572,233 | 483,942 | 581,248 | 525,462 | 363,544 | 4,143,707 |
| Raúl | nv-610 - nv-880 | 62,956 | 501,189 | 733,857 | 659,130 | 915,278 | 1,154,475 | 757,703 | 725,924 | 5,510,512 |
| Vinchos | -255 | | | | | | | | 96,681 | 96,681 |
| Vinchos | -300 | | | | | | | | 86,342 | 86,342 |
| Total | tn | 2,602,306 | 3,098,489 | 3,510,011 | 3,499,496 | 3,499,958 | 3,500,046 | 3,510,300 | 2,478,494 | 25,699,098 |

Fuente: Área de Planeamiento e Ingeniería, Compañía Minera Condestable, S.A. (2021)

Tabla 24. Cálculo del nuevo P.U. para el escenario de uso de volquete de doble tolva periodo 2022-2029

| Zona | Nivel | P.U. ESCENARIO VOLQUETE DOBLE TOLVA \$/tn-km | | | | | | | |
|-------------|------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 |
| Condestable | Condestable | 0.378 | 0.378 | 0.378 | 0.378 | 0.378 | 0.378 | 0.378 | 0.378 |
| Raúl | nv+195 - nv -255 | 0.378 | 0.378 | 0.378 | 0.378 | 0.378 | 0.378 | 0.378 | 0.378 |
| Raúl | nv-300 - nv-400 | 0.292 | 0.293 | 0.294 | 0.293 | 0.291 | 0.293 | 0.301 | 0.293 |
| Raúl | nv-460 - nv-580 | 0.291 | 0.292 | 0.292 | 0.289 | 0.291 | 0.291 | 0.296 | 0.296 |
| Raúl | nv-610 - nv-880 | 0.378 | 0.295 | 0.299 | 0.299 | 0.296 | 0.294 | 0.296 | 0.295 |
| Vinchos | nv -255 | 0.378 | 0.378 | 0.378 | 0.378 | 0.378 | 0.378 | 0.378 | 0.378 |
| Vinchos | nv -300 | 0.292 | 0.293 | 0.294 | 0.293 | 0.291 | 0.293 | 0.301 | 0.293 |

Fuente: Observación directa, 2021

Tabla 25. Costo de transporte escenario actual uso volquete 45 tn periodo 2022-2029

| Escenario Actual Costo USD | | 2022 USD | 2023 USD | 2024 USD | 2025 USD | 2026 USD | 2027 USD | 2028 USD | 2029 USD | Total USD |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Condestable | | 1,020,741 | 1,230,232 | 1,154,992 | 387,117 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,793,082 |
| Raúl | nv+195 - nv -255 | 1,328,666 | 951,811 | 1,970,168 | 2,483,161 | 2,587,985 | 2,106,502 | 2,286,797 | 1,732,621 | 15,447,710 |
| Raúl | nv-300 - nv-400 | 618,424 | 1,131,314 | 1,337,453 | 1,218,748 | 1,435,645 | 1,210,801 | 2,770,016 | 887,424 | 10,609,826 |
| Raúl | nv-460 - nv-580 | 2,051,037 | 2,199,208 | 1,437,766 | 1,932,598 | 1,696,523 | 2,032,475 | 1,824,500 | 1,267,512 | 14,441,619 |
| Raúl | nv-610 - nv-880 | 247,191 | 2,025,897 | 3,096,451 | 2,796,823 | 3,739,960 | 4,570,337 | 2,928,044 | 2,772,300 | 22,177,004 |
| Vinchos | nv -255 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 241,007 | 241,007 |
| Vinchos | nv -300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 236,102 | 236,102 |
| Total | | 5,266,059 | 7,538,463 | 8,996,830 | 8,818,447 | 9,460,113 | 9,920,115 | 9,809,357 | 7,136,965 | 66,946,349 |

| | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| \$/tn | 2.02 | 2.43 | 2.56 | 2.52 | 2.70 | 2.83 | 2.79 | 2.88 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|

Fuente: Observación directa, 2021

Tabla 26. Costo de transporte de mineral escenario volquete de doble tolva 80 tn periodo 2022-2029

| Escenario Volquete Doble Tolva Costo USD | | 2022 USD | 2023 USD | 2024 USD | 2025 USD | 2026 USD | 2027 USD | 2028 USD | 2029 USD | Total USD |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Condestable | | 1,020,741 | 1,230,232 | 1,154,992 | 387,117 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,793,082 |
| Raúl | nv+195 - nv -255 | 1,328,666 | 951,811 | 1,970,168 | 2,483,161 | 2,587,985 | 2,106,502 | 2,286,797 | 1,732,621 | 15,447,710 |
| Raúl | nv-300 - nv-400 | 478,431 | 877,083 | 1,041,175 | 944,366 | 1,106,605 | 939,392 | 2,202,337 | 688,385 | 8,277,773 |
| Raúl | nv-460 - nv-580 | 1,584,092 | 1,696,643 | 1,110,687 | 1,478,485 | 1,306,110 | 1,563,151 | 1,426,747 | 991,809 | 11,157,724 |
| Raúl | nv-610 - nv-880 | 247,191 | 1,582,742 | 2,447,568 | 2,214,015 | 2,930,663 | 3,549,540 | 2,290,488 | 2,161,484 | 17,423,692 |
| Vinchos | nv -255 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 241,007 | 241,007 |
| Vinchos | nv -300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 183,147 | 183,147 |
| Total | | 4,659,121 | 6,338,511 | 7,724,589 | 7,507,144 | 7,931,363 | 8,158,585 | 8,206,369 | 5,998,453 | 56,524,135 |

| | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| \$/tn | 1.79 | 2.05 | 2.20 | 2.15 | 2.27 | 2.33 | 2.34 | 2.42 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|

| | | | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ahorro \$/tn | 0.23 | 0.39 | 0.36 | 0.37 | 0.44 | 0.50 | 0.46 | 0.46 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|

Fuente: Observación directa, 2021

Para el cálculo del P.U. \$/tn-km en los niveles donde están ubicados los OP se ha considerado las distancias promedio a recorrer los volquetes tanto el de doble tolva como los volquetes de 45 tn, asimismo se ha considerado un P.U. de 0.283\$/tn-km. Este nuevo P.U. se ha actualizado tomando en cuenta los datos reales del volquete como rendimientos, velocidad, consumo de combustible, así como el precio del combustible. Para el cálculo del P.U. inicial se consideró un costo de 2.65\$/gln; sin embargo, este precio se ha incrementado en los últimos meses y el precio que se ha considerado es de 3.0 \$/gln.

Se observa que con el uso del volquete de doble tolva se tendría un ahorro de 0.33\$/tn en el año 2022 y para el año 2029 se tendría un ahorro de 0.46\$/tn.



CAPÍTULO III. DISCUSIÓN

La Compañía Minera Condestable es una empresa dedicada al procesamiento y venta de concentrados de cobre, con contenidos de oro y plata, que obtiene por medio de la explotación de sus yacimientos. Su proceso productivo se basa en la flotación de mineral en su propia planta concentradora, con una capacidad instalada de 7,000 TPD. En el 2019 tuvo una producción de 6000 TPD, para el 2020 alcanzó 6500 TPD, mientras que para el 2021 se tuvo un promedio de 6500 TPD y para el año 2022 se proyecta 8400 TPD. Los recursos minerales de CMC medidos e indicados desde diciembre del 2019 a diciembre del 2021 se ubican en 30,392,657 tn con una ley promedio de 0.96% Cu. Es importante destacar que, el método de explotación de acuerdo con la estructura de la mina utilizado hasta finales del año 2019 fue el método Sub Level Stoping por subniveles, popularmente conocido como "taladros largos". Este fue su método principal para la explotación mecanizada; sin embargo, a inicios del 2020 comenzaron a utilizar el método SLS en la explotación de tajos.

En la fase de explotación, la CMC en el año 2019 utilizó el método de tajos, unos convencionales y otros mecanizados, con una representación del 82% de total de explotación, mientras que, el restante 18% perteneció al aporte de preparaciones llamado mineral de avances y canchas. Inicia con el sostenimiento utilizando un equipo empernado, malla, shotcrete o el considerado por la revisión geomecánica. La siguiente fase, es la perforación, seguida por la voladura, la ventilación, el carguío y el transporte. Todas estas se efectúan en tajos convencionales y mecanizados. Para la extracción del tajo, se analizan las reservas y se preparan las actividades, así como, se analizan los costos, es decir, se planifican todas las acciones, porque de ello depende la rentabilidad de la operación minera. La planificación de los costos en Mina Condestable, consiste en la evaluación del impacto económico sobre los costos asociados a las actividades individuales.

Mina Condestable tiene dos zonas definidas: la zona Condestable y mina Raúl. La zona Condestable se encuentra preparada hasta el nv-115 y se espera desarrollar las preparaciones hasta el nv-300 para realizar la explotación de las reservas estimadas. Para el caso de la zona Raúl -a la fecha- llega hasta el nv-730 pero según las reservas, se estima realizar laboreo hasta el nv-880. Según el LOM, para el periodo 2021-2025 para la zona Condestable se programa el total de la explotación de sus reservas y esto representa un 25% del total de la producción. Ahora bien, en la zona Raúl representa el 75% del total de la producción para dicho periodo, cabe mencionar que el 45% del total de la producción corresponde a los niveles del 300 al 880. Entonces para el periodo

2026-2029 la producción estará enfocada en la zona Raúl, del cual el 60% de la producción se ejecutará desde el nv-300 al nv-880 y el 40% proviene de la zona alta de Raúl.

Según las metas físicas, durante el año 2022 se tiene programado una producción de 2,907,000 tn con un promedio de ley 0.765% Cu y para la producción diaria se tiene un programa de 8,400 tn/día; es entonces que se ha previsto implementar una flota de 4 volquetes de doble tolva. Estos volquetes harán uso de los OPs ubicados en el nv-350 y en el nv-580. Es importante mencionar que el OP ubicado en el nv-350 ya se encontraba ejecutado antes del inicio del proyecto piloto, el OP del nv-580 se estima culminar en mayo del año 2022 y el OP del nv-700 estaría culminando en diciembre del 2022.

El servicio de transporte de mineral y desmonte en la Mina Condestable, se encuentra tercerizado, siendo la empresa CNSAC quien posee la mayor cantidad de flota para el transporte de mineral y desmonte. Para ello, la compañía tiene un contrato con CN SAC, las mismas, poseen unidades de modelo Scania 8x4, con una capacidad de 35 tn (Volvo 10x6) y 45tn (Volvo 8x4). En cuanto al rendimiento del traslado de mineral y desmonte, en la Mina Condestable, en el año 2020 fue para mineral 36.98 y desmonte de 32.31 toneladas por viaje. Para el 2020, el recorrido de mineral fue de 6.61 km. La empresa CN SAC asumió un costo unitario en el año 2020 de 2.13 \$/t.

Los costos de transporte por distancia promedio en el 2021 fue de 5.11 km y arrojó un costo de 2.98 \$/tn. A la fecha, el costo del transporte de mineral de interior mina a superficie representa 20% del costo de mina y un 8% del C1 cash cost. Cabe precisar que, para un volquete Scania de 45 tn se tiene un costo unitario de 0.378 \$/tn-km, mientras que el costo unitario para el volquete de doble tolva es de 0.283 \$/tn-km. Los resultados del uso de volquetes de 50 tn para ver el incremento de productividad frente a los volquetes de 45 tn en el 2020, no fueron requeridos para la empresa debido a la baja de la productividad del scoop de 6 yd³: el volquete debió cargar con 5 viajes; sin embargo, se lograron solo 4.5 viajes, perdiendo así 0.5 viaje de productividad, por ello se optó continuar con los volquetes de 40 tn, para cargar 4 viajes del *scoop* para mantener su eficiencia.

Con el uso del volquete de doble tolva se esperaba reducir el costo de transporte a 0.25 \$/tm-km, pero este costo se ha incrementado a 0.283\$/tn-km, esto debido a que en el P.U. inicial del transporte se utilizaron PKI's con una mayor productividad. Estos datos se han actualizado de acuerdo a los KPI's obtenidos en el campo, por ejemplo, se esperaba un rendimiento de 75 tn/viaje; sin embargo, el

rendimiento promedio del volquete de doble tolva es de 72 tn/viaje, asimismo se esperaba un rendimiento de 10 viajes/día para el recorrido de Chancado – OP nv-350 - Chancando, pero según los reportes de productividad, el rendimiento es de 9 viajes/día. Por otro lado, el rendimiento de las llantas tanto delanteras como traseras en el P.U. se proyectó un rendimiento de 1800 h; sin embargo, los resultados fueron de 1700 h. Asimismo, para el combustible inicialmente se consideró un consumo de 8.3 gal/h; sin embargo, el consumo promedio del volquete de 10 gal/h. Además, el costo del combustible también es un factor importante en el incremento del costo debido a que no se consideró el incremento del precio en los últimos meses ya que para el P.U. inicial se consideró un costo de 2.65\$/gal mientras que en el P.U. actualizado es de 3.0 \$/gal. Cabe mencionar que precio del combustible es ajeno a la productividad del volquete.

Con los resultados obtenidos con la aplicación del proyecto piloto se puede determinar las principales ventajas y desventajas con respecto al escenario actual que se viene desarrollando:

Escenario actual:

Ventajas:

- Carguío cercano a zonas de producción.
- Menor longitud en la ejecución de rampa a 12 %de gradiente.
- No requiere ampliación de labores principales donde transita el volquete.
- No requiere de vía exclusiva para transitar.
- El volquete puede ser utilizado para trasladar material de desmonte.

Desventajas:

- Mayor costo de transporte.
- Mayor distancia de recorrido.
- Acumulación de tiempo de espera para cargar el volquete.
- Mayor circulación de volquetes en las rampas principales.
- Mayor riesgo de accidentes de tránsito.
- Mantenimiento de vías constantes por la afluencia de volquetes.

Escenario 80 tn (doble tolva):

Ventajas:

- Menor costo de transporte de mineral.
- Menor distancia de recorrido.
- Menos viajes de traslado de mineral a chancado.
- Menor flota de volquetes.
- Menor afluencia de equipos en las rampas principales.
- Menor emisión de CO2
- Menor afluencia de equipos de rampas principales, disminuyendo la probabilidad que ocurran accidentes de tránsito.
- Menor manipuleo de equipos.

Desventajas:

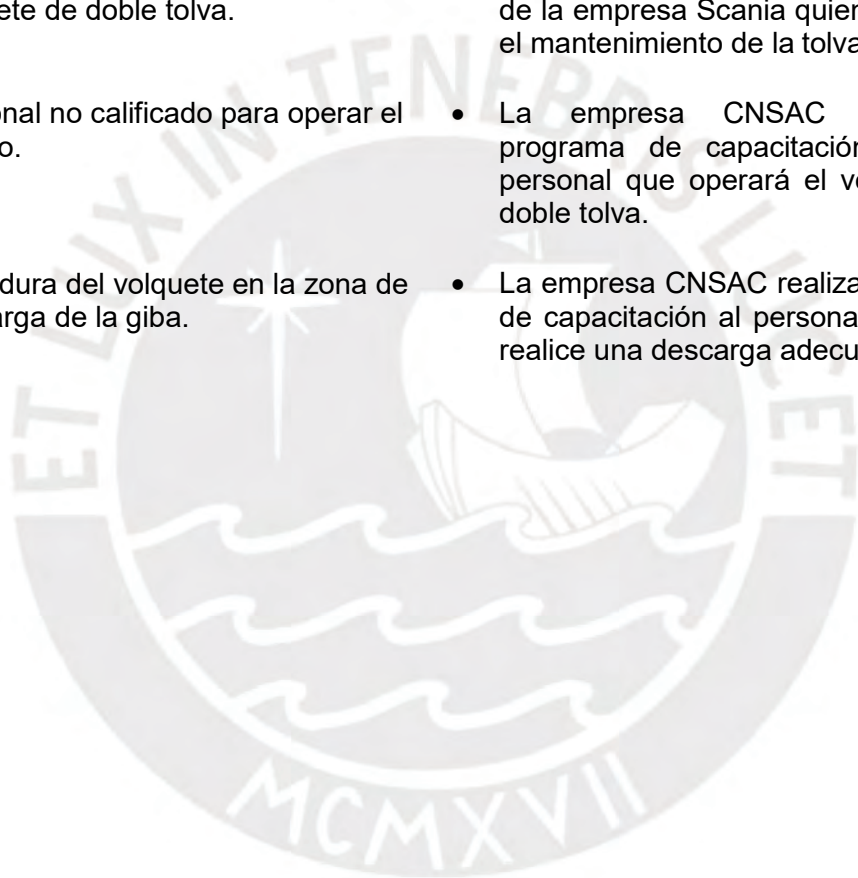
- Diseño de tolva de volquete exclusivo para el volquete de doble tolva.
- Para el carguío requiere de ore pass.
- Volquete de diseño exclusivo
- Mayor incremento de metros debido a que el diseño de las rampas es de 10% de gradiente.
- Personal calificado.

Asimismo, con la implementación del volquete de doble tolva se ha podido identificar los principales riesgos

Riesgo:

Mitigación:

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Descarrilamiento de la tolva posterior • Piso resbaloso, ocasionando que la tolva posterior se ladee. • Sistema de volteo exclusivo para el volquete de doble tolva. • Personal no calificado para operar el equipo. • Volcadura del volquete en la zona de descarga de la giba. | <ul style="list-style-type: none">• El sistema mecánico tiene un dispositivo de seguridad. • Se utiliza un aditivo especial para mantener en óptimas condiciones la vía. • Se tiene asistencia técnica por parte de la empresa Scania quien garantiza el mantenimiento de la tolva. • La empresa CNSAC tiene un programa de capacitación para el personal que operará el volquete de doble tolva. • La empresa CNSAC realizará un plan de capacitación al personal para que realice una descarga adecuada. |
|--|--|

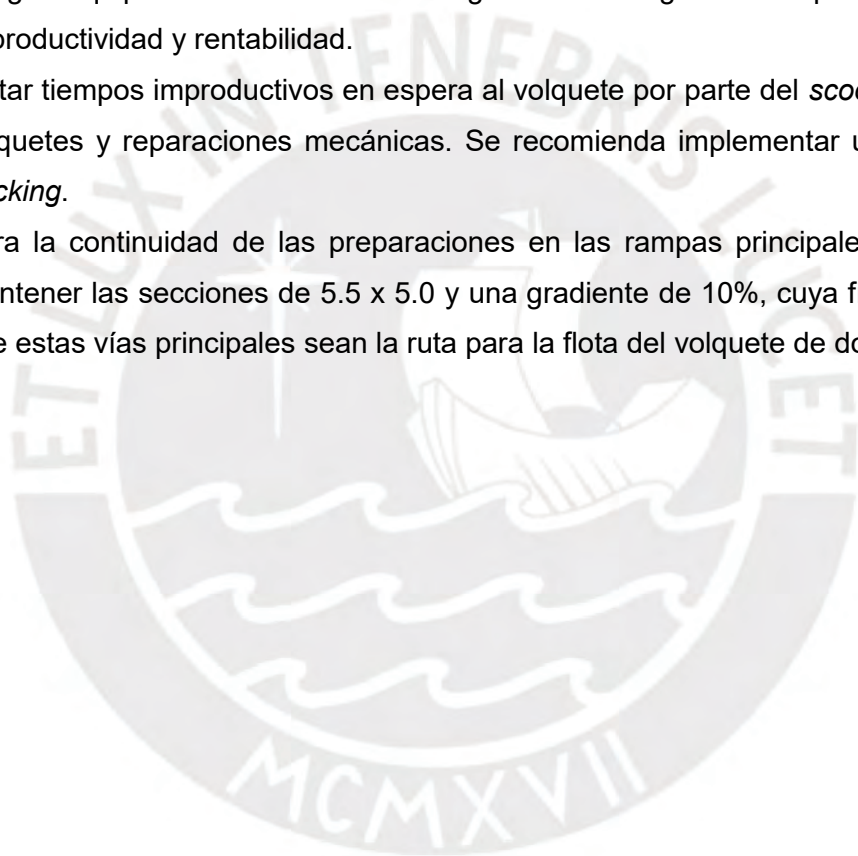


CONCLUSIONES

1. Con el estudio realizado, se obtuvo la reducción del costo de transporte de mineral de 0.378 \$/tn-km a 0.283 \$/tn-km.
2. De acuerdo con los datos obtenidos por el Área de Productividad, la capacidad efectiva de transporte de mineral es de 72 tn/viaje, 3tn/viaje menos de lo planeado.
3. Para comparar los rendimientos de los KPI's se ha proyectado el mismo recorrido tanto para el volquete de doble tolva como el volquete de 45 tn. La ruta comparar va desde la zona de chancado – OP nv-350 – Chancado. El recorrido es de 6.3 Km para ambos casos, entonces se tiene que para el volquete de 45tn tiene una velocidad subida 10.24 km/h y una velocidad de bajada de 21.53km/h, ahora bien, para el volquete de doble tolva se calculó una velocidad de subida 7.98 km/h y velocidad de bajada de 17.46km/h.
4. Del estudio realizado, se ha obtenido que el número de viajes por día es 9 para el volquete de doble tolva mientras que para el volquete de 45 tn es 11 viajes/día, entonces se tiene que el volquete de doble tolva transporta un promedio 650 de tn/viaje, mientras que el volquete de doble tolva transporta un promedio de 470 tn/día.
5. Los resultados de VAN estimados del flujo de caja técnico económico se concluye que la VAN es de 4,111,686 con un costo de oportunidad del 12%, esto indica que el proyecto es rentable.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a CMC el diseño y ejecución de planes para la reducción de costos a corto plazo, que abarquen máximo 12 meses. Esto le permitirá diseñar y emplear estrategias más efectivas e inmediatas que favorezcan su productividad y rentabilidad.
2. Lo logrado con el proyecto -que en la actualidad viene ejecutando CMC- puede ser aplicado a otras empresas mineras de singulares características y problemas.
3. Se debe generar un mantenimiento más continuo en las vías.
4. Integrar equipos modernos con tecnologías de última generación para optimizar la productividad y rentabilidad.
5. Evitar tiempos improductivos en espera al volquete por parte del *scoop*, cola de volquetes y reparaciones mecánicas. Se recomienda implementar un sistema *tracking*.
6. Para la continuidad de las preparaciones en las rampas principales se debe mantener las secciones de 5.5 x 5.0 y una gradiente de 10%, cuya finalidad es que estas vías principales sean la ruta para la flota del volquete de doble tolva.



REFERENCIAS

- Alla, H. R., Hall, R., & Apel, D. B. (2020). *Performance evaluation of near real-time condition monitoring in haul trucks. International Journal of Mining Science and Technology*, 30(6), 909–915.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.05.024>
- Anderhofstadt, B., & Spinler, S. (2020). *Preferences for autonomous and alternative fuel-powered heavy-duty trucks in Germany. Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 79, 102232.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102232>
- Anchiraico y Rojas. (2020). *Optimización del sistema de acarreo y transporte en labores de preparación de las zonas de profundización mediante la metodología Six Sigma operada por la E.C.M. Zicsa en la Unidad Minera Inmaculada*. UPC. Perú.
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655408/AnchiraicoG_A.pdf?sequence=3
- Baek, J., & Choi, Y. (2017). *A New Method for Haul Road Design in Open-Pit Mines to Support Efficient Truck Haulage Operations. Applied Sciences*, 7(7).
<https://doi.org/10.3390/APP7070747>
- Baek, J., & Choi, Y. (2019). *Simulation of Truck Haulage Operations in an Underground Mine Using Big Data from an ICT-Based Mine Safety Management System*. In *Applied Sciences* (Vol. 9, Issue 13).
<https://doi.org/10.3390/app9132639>
- Bajany, D. M., Zhang, L., & Xia, X. (2019). *An Optimization Approach for Shovel Allocation to Minimize Fuel Consumption in Open-pit Mines: Case of Heterogeneous Fleet of Shovels. IFAC-PapersOnLine*, 52(14), 207–212.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.09.196>

Bakhtavar, E., & Mahmoudi, H. (2018). *Development of a scenario-based robust model for the optimal truck-shovel allocation in open-pit mining*. *Computers & Operations Research*, 115, 104539. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.08.003>

Bárcena, A. (2018). *Estado de la situación de la minería en América Latina y el Caribe: desafíos y oportunidades para un desarrollo más sostenible*.
https://www.cepal.org/sites/default/files/presentation/files/181116_extendidadfinalconferencia_a_los_ministros_mineria_lima.pdf

Banco Mundial (2020). *La producción minera se dispara con el aumento de la demanda de energía limpia*. Mayo 11, 2020. Comunicado de prensa N.º 2020/186/EEX <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/05/11/mineral-production-to-soar-as-demand-for-clean-energy-increases>

Barrera, Daza, Deluque, Pulido, Acero (2020). *Gestión de Transportes Y Distribución*. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/18412/74753515.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bazán, A. (2016). *Cálculo del número de unidades de la flota de camiones en el tajo abierto Minera Atocha*. Universidad Continental. Perú.
file:///C:/Users/user/Downloads/IV_FIN_110_TE_Baz%C3%A1n_Cupri_2016.pdf

BBVA. (2019). *Perú | Situación del sector minero. Febrero 2019 | BBVA Research*. <https://www.bbvarsearch.com/publicaciones/peru-situacion-del-sector-minero-febrero-2019/>

Bernardi, L., Kumral, M., & Renaud, M. (2020). *Comparison of fixed and mobile in-pit crushing and conveying and truck-shovel systems used in mineral industries through discrete-event simulation*. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 103,

102100. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102100>

Bernaola, H. (2012). *Gestión de la productividad total en minería subterránea: Indicadores de productividad*. Retrieved May 12, 2019, from Gestipolis website: <https://www.gestipolis.com/gestion-de-productividad-total-mineriasubterranea/#autores>

Bhoopalam, A. K., Agatz, N., & Zuidwijk, R. (2018). *Planning of truck platoons: A literature review and directions for future research*. *Transportation Research Part B: Methodological*, 107, 212–228. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.10.016>

Bonilla, E., & Rodríguez, P. (2000b). *Más allá del dilema de los métodos. La investigación en Ciencias Sociales*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.

Calua, F. (2019). *Propuesta de minimización de tiempos improductivos para una mayor producción en carguío y acarreo en cia. Minera Coimolache*. Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3114/TESIS%20FREDDY.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Camióndirecto.com (2020). Los camiones y sus tipos. <https://camiondirecto.com/blog/camiones/diferentes-tipos-de-camiones>

CAMIPER. (2021). *El Covid-19 acelera la automatización minera - Tiempo Minero*. <https://camiper.com/tiempominero/el-covid-19-acelera-la-automatizacion-minera-aumentaran-los-despidos/>

CEPAL. (2020). *Sectores y empresas frente al COVID-19: emergencia y reactivación*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/45734> Chaowasakoo, P., Seppälä, H., Koivo, H., & Zhou, Q. (2017). Improving fleet management in mines: The benefit of heterogeneous match factor. *European Journal of Operational Research*,

261(3), 1052–1065. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.02.039>

Compañía Minera Condestable S.A. (2021). Área de Planeamiento e Ingeniería .
Información Técnica, 15-20pp.

Creswell, J. W. (1994). *Qualitative inquiry research design*.

<https://academia.utp.edu.co/seminario-investigacion>

<II/files/2017/08/INVESTIGACION-CUALITATIVACreswell.pdf>

Cruzat, J. V., & Valenzuela, M. A. (2018). *Modeling and Evaluation of Benefits of Trolley Assist System for Mining Trucks. IEEE Transactions on Industry Applications, 54(4), 3971–3981.* <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2823261>

De Haller, A., & Fontboté, L. (2019). *The Raul-Condestable Iron Oxide Copper-Gold Deposit, Central Coast of Peru: Ore and Related Hydrothermal Alteration, Sulfur Isotopes, and Thermodynamic Constraints.* *Economic Geology* 104(3):365-384. DOI:10.2113/gsecongeo.104.3.365.

Delsol;2020 <https://www.sdelsol.com/glosario/productividad/>

Fuqing, Y., Barabadi, A., & Jinmei, L. (2017). *Reliability modelling on two-dimensional life data using bivariate Weibull distribution: with case study of truck in mines.* *Eksploratacja i Niezawodnosc Maintenance and Reliability, 19(4), 650–659.* <https://doi.org/10.17531/EIN.2017.4.20>

Gaete, C. (2019). *Interfaz computacional para gestión de KPI de operadores de carguío y transporte de Minera Centinela.* Universidad de Chile.
file:///C:/Users/user/Downloads/cf-gaete_cv.pdf

Gerens. (2018). *Abordando realidades de los costos mineros.* Obtenido de <https://gerens.pe/blog/abordando-realidades-costos-mineros/>

Hajarian, A., & Osanloo, M. (2020). *A New Developed Model to Determine Waste Dump Site Selection in Open Pit Mines: An Approach to Minimize Haul Road*

Construction Cost. International Journal of Engineering, 33(7), 1413–1422.

<https://doi.org/10.5829/IJE.2020.33.07A.29>

Haldar, S. (2018). *Elements of Mining. Mineral Exploration (2 ed.)*. DOI: 10.1016/B978-0-12-814022-2.00012-5.

Henning, J., & Mitri, H. (2017). *Numerical modelling of ore dilution in blasthole stopping*. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 44, 692–703.

Obtenido de:

https://www.researchgate.net/publication/248165445_Numerical_modelling_of_ore_dilution_in_blasthole_stopping.

Holguín-Veras, J., Kalahasthi, L., Campbell, S., González-Calderón, C. A., & (Cara) Wang, X. (2021). *Freight mode choice: Results from a nationwide qualitative and quantitative research effort*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 143, 78–120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.11.016>

Hurtado de Barrera, J. (2000). *Investigación Holística*. Caracas: Instituto Universitario de Tecnología Caripito - Sypal. Ediciones Quirón.

Ingeniería y construcción. (2020). *Etapas del proceso productivo del cobre*. Obtenido de <https://www.hlcsac.com/noticias/cuales-son-las-etapas-del-proceso-productivo-del-cobre/>

Kawalec, W., Król, R., & Suchorab, N. (2020). *Regenerative Belt Conveyor versus Haul Truck-Based Transport: Polish Open-Pit Mines Facing Sustainable Development Challenges*. In *Sustainability* (Vol. 12, Issue 21).

<https://doi.org/10.3390/su12219215>

Koscina, S. (2019). *El proceso de carguío y transporte en la industria minera*.

<https://octopusmining.com/el-proceso-de-carguio-y-transporte-en-la-industria-minera/>

- Krot, P., Sliwinski, P., Zimroz, R., & Gomolla, N. (2020). *The identification of operational cycles in the monitoring systems of underground vehicles. Measurement, 151*, 107111.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107111>
- Kumykova, T. M., & Kumykov, V. K. (2018). *Method of Shaping Loading-and-Transportation System in Deep Open Pit Complex Ore Mines. Journal of Mining Science, 53(4)*, 708–717. <https://doi.org/10.1134/S1062739117042702>
- Liimatainen, H., van Vliet, O., & Aplyn, D. (2019). *The potential of electric trucks—An international commodity-level analysis. Applied Energy, 236*, 804–814.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2018.12.017>
- Maykut, & Morehouse. (s.f.). Obtenido de
<http://pepsic.bvsalud.org/pdf/rcp/v19n1/06.pdf>
- Maykut, P., & Morehouse. (1994). *Beginning qualitative research a philosophical and practical guide. . Londres.*
- Ministerio de Energía y Minas (2020). Boletín Estadístico Minero. ESTAMIN Diciembre 2020. Edición N° 12-2020.
<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/VARIABLES/2020/BEMdic2020.pdf>
- Mnwana, S., & Bowman, A. (2018). *Mine mechanisation and distributional conflict in rural South Africa. Resources Policy, 59(C)*, 227–237.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2018.07.008>
- Moradi Afrapoli, A. (2019). *A Hybrid Simulation and Optimization Approach towards Truck Dispatching Problem in Surface Mines* [University of Alberta].
<https://doi.org/https://doi.org/10.7939/r3-dtqy-d662>
- Moradi Afrapoli, A., Tabesh, M., & Askari-Nasab, H. (2019). *A multiple objective*

transportation problem approach to dynamic truck dispatching in surface mines.

European Journal of Operational Research, 276(1), 331–342.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.01.008>

Morgenroth, J., Khan, U., & Perras, M. (2019). *An Overview of Opportunities for Machine Learning Methods in Underground Rock Engineering Design.*

Geosciences 9, 504. DOI: 10.3390/geosciences9120504.

Nakousi, C., Pascual, R., Anani, A., Kristjanpoller, F., & Lillo, P. (2018). *An asset-management oriented methodology for mine haul-fleet usage scheduling.*

Reliability Engineering & System Safety, 180, 336–344.

<https://doi.org/10.1016/J.RESS.2018.07.034>

Nehring, M., Knights, P. F., Kizil, M. S., & Hay, E. (2018). *A comparison of strategic mine planning approaches for in-pit crushing and conveying, and truck/shovel systems.* *International Journal of Mining Science and Technology*, 28(2), 205–214.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.12.026>

Nelson, M. (2017). *Evaluation of Mining Methods and Systems.* En P. Darling (Ed.).

SME Mining Engineering Handbook, (3 ed., pp. 341– 348).

Oggeri, C., Fenoglio, T. M., Godio, A., & Vinai, R. (2019). *Overburden management in open pits: options and limits in large limestone quarries.* *International Journal of Mining Science and Technology*, 29(2), 217–228.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.06.011>

Ozdemir, B., & Kumral, M. (2019). *Simulation-based optimization of truck-shovel material handling systems in multi-pit surface mines.* *Simulation Modelling Practice and Theory*, 95, 36–48.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.04.006>.

Peña, A. G. de la, Davendralingam, N., Raz, A. K., DeLaurentis, D., Shaver, G., Sujan,

- V., & Jain, N. (2019). *Projecting line-haul truck technology adoption: How heterogeneity among fleets impacts system-wide adoption*. *Transportation Research Part e Logistics and Transportation Review*, 124, 108–127.
<https://doi.org/10.1016/J.TRE.2018.12.017>
- Pol, J. (2019). Tolvas. <https://es.scribd.com/document/282673348/TOLVAS>
- Potey, M., & Sinha, P. (2017). *Review and Analysis of Machine Learning and Soft Computing Approaches for User Modeling*. *International Journal of Web & Semantic Technology (IJWesT)*, 6(1), 39-52. DOI: 10.5121/ijwest.2015.6104 39.
- Ramírez, N. (2007). *Sistema de Gestión del Tiempo en Operaciones Mineras* (1ra ed.; G. Quiquia, Ed.). Lima: Imprenta Gráfica Rocío
- Samatamba, B., Zhang, L., & Besa, B. (2020). *Evaluating and optimizing the effectiveness of mining equipment; the case of Chibuluma South underground mine*. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119697.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119697>
- Schütz, A. (1954) *La fenomenología de Alfred Schütz*
- Taylor, & Bongdan. (2020). *Introducción a los métodos cualitativos de Investigación*.
Obtenido de <https://pics.unison.mx/doctorado/wp-content/uploads/2020/05/Introduccion-a-Los-Metodos-Cualitativos-de-Investigacion-Taylor-S-J-Bogdan-R.pdf>
- Terblanche, P. J., Kearney, M. P., Nehring, M., & Knights, P. F. (2019). *Potential of on-board energy recovery systems to reduce haulage costs over the life of a deep surface mine*. *Mining Technology*, 128(1), 51–64.
<https://doi.org/10.1080/25726668.2018.1554933>
- Tornos, F., Carriedo, J., Velasco, F., & Tomé, C. (2018). *La génesis de los depósitos de tipo IOCG: geología y geoquímica de mineralizaciones en los Andes e*

Iberia. Obtenido de:

https://www.researchgate.net/publication/233801893_La_genesis_de_los_depositos_de_tipo_IOCG_Geologia_y_geoquimica_de_mineralizaciones_en_los_Andes_e_Iberia.

- Villegas, M. (2017). Factores que incrementan el consumo de combustible en la maquinaria minera de la empresa Robocon Servicios. Perú. Universidad Nacional del Centro de Perú.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1653/TESIS%20MIGUEL.pdf?sequence=1>
- Yakovlev, V. L., Karmaev, G. D., Bersenev, V. A., Glebov, A. V, Semekin, A. V, & Sumina, I. G. (2016). Efficiency of cyclical-and-continuous method in open pit mining. *Journal of Mining Science*, 52(1), 102–109.
<https://doi.org/10.1134/S1062739116010174>
- Zhao, Z., & Bi, L. (2020). A New Challenge: Path Planning for Autonomous Truck of Open-Pit Mines in The Last Transport Section. In *Applied Sciences* (Vol. 10, Issue 18). <https://doi.org/10.3390/app10186622>
- Zong-Xian, Z. (2017). *Rock Fracture and Blasting Theory and Applications*. Journals Elsevier pp: 255-270. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802688-5.00012-9>.

ANEXOS



ANEXO N° 1 - MATRIZ DE CONSISTENCIA

IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL SCANIA HEAVY TIPPER XT V8 EN LA REDUCCIÓN DE COSTOS DE TRANSPORTE DE LA MINA CONDESTABLE, MALA, CAÑETE, 2020-2021

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES | METODOLOGÍA |
|--|---|---|--|---|
| <p>A.PRINCIPAL</p> <p>¿Con el uso del volquete de doble tolva se reducen los costos de transporte en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021?</p> <p>B. SECUNDARIOS</p> <p>a) ¿Cuáles son las características generales de la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021?</p> <p>b) ¿Cuáles serían el flujo de transporte de carga con la nueva tecnología, incluyendo los insumos y equipos necesarios?</p> <p>c) ¿Qué cantidad de viajes por día se conseguirá con el uso del volquete de doble tolva en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021?</p> <p>d) ¿Cuál sería la velocidad de los viajes con el uso del volquete de doble tolva en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021?</p> <p>e) ¿Cuál será el tiempo de carguío con el uso del volquete de doble tolva en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021?</p> <p>f) ¿Qué distancia se puede recorrer con el volquete de doble tolva en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021?</p> <p>g) ¿Cuántas toneladas puede transportar por viaje el volquete de doble tolva en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021?</p> | <p>A. GENERAL</p> <p>Determinar el impacto técnico y económico del volquete de doble tolva en la reducción de costos de transporte en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.</p> <p>B. ESPECÍFICOS</p> <p>a) Determinar las características generales de la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.</p> <p>b) Determinar el flujo de transporte de carga con la nueva tecnología, incluyendo los insumos y equipos necesarios.</p> <p>c) Determinar la cantidad de viajes por día que se conseguirá con el uso del volquete de doble tolva en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.</p> <p>d) Determinar la velocidad de los viajes con el uso del volquete de doble tolva en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.</p> <p>e) Determinar el tiempo de carguío con el uso del volquete de doble tolva en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.</p> <p>f) Determinar la distancia que se puede recorrer con el volquete de doble tolva en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.</p> <p>g) Determinar las toneladas que puede transportar por viaje el volquete de doble tolva en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.</p> | <p>A. GENERAL</p> <p>Con la implementación del volquete de doble tolva como alternativa tecnológica, se incrementa la productividad en la minería subterránea Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021, debido a su mayor capacidad de carga, a menor costo por tonelada transportada, así como un menor costo en funcionamiento, mantenimiento y reparación.</p> <p>B. ESPECÍFICAS</p> <p>a) Las características generales de la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021 son adecuadas para el uso del del volquete de doble tolva.</p> <p>b) La cantidad de viajes por día se reducirá con el uso del volquete de doble tolva en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.</p> <p>c) La velocidad de los viajes se elevará con el uso del volquete de doble tolva en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021.</p> <p>d) El tiempo de carguío con el uso del volquete de doble tolva en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021 se verá reducido.</p> <p>e) La distancia recorrida con el volquete de doble tolva en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021 es mayor.</p> <p>f) Las toneladas para transportar por viaje con el volquete de doble tolva en la Mina Condestable del distrito Mala, provincia Cañete, durante el periodo 2020-2021 son mayores.</p> | <p>V1: IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL VOLQUETE DE DOBLE TOLVA</p> <p>V2: REDUCCIÓN DE COSTOS DE TRANSPORTE</p> <p><u>Categorías:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • La cantidad de viajes por día. • La velocidad en los viajes (km/h). • El tiempo de carguío (min) • La distancia (Km) • Las toneladas por viaje | <p>1. Tipo de Investigación</p> <p>Estudio de caso</p> <p>2. Nivel de investigación</p> <p>Aplicada - Descriptiva- Correlacional</p> <p>3. Técnicas de Recolección de Datos</p> <p>Observación directa</p> <p>4. Instrumentos de Recolección de Datos</p> <p>Data de reporte de productividad</p> |







PRUEBA CAMIÓN SCANIA CN 462 TRANSPORTE 80 TM
SCANIA V8 R620
(8x4 HEAVY TIPPER - 620 HP)
CARGADO EN 1 TOLVA Y CARRETA VACÍA

| DESTINO | INICIO | FINAL | Δ TIEMPO (hh:mm:ss) | TIEMPO (hr) | DISTANCIA (Km) | VELOCIDAD (Km/hr) | GRADIENTE (%) | TM |
|---|----------------------------|-------------------|---------------------|-----------------|----------------|-------------------|---------------|--------------|
| CHUTE 4351 NV-350 a BOCAMINA RP_2000 (INTERIOR MINA) SUBIDA | Chute 4351 NV-350 | RP_78 NV-300 | 00:04:48 | 0.08 | 0.600 | 7.5 | 12.0% | 42.42 |
| | RP_78 NV-300 | RP_78 NV-282 | 00:02:59 | 0.05 | 0.282 | 5.7 | 12.0% | 42.42 |
| | RP_78 NV-282 | RP_78 NV-255 | 00:01:27 | 0.02 | 0.250 | 10.3 | 10.0% | 42.42 |
| | RP_78 NV-255 | RP_78 NV-175 | 00:04:49 | 0.08 | 0.818 | 10.2 | 10.0% | 42.42 |
| | RP_78 NV-175 | RP_78 NV-95 | 00:03:42 | 0.06 | 0.556 | 9.0 | 12.0% | 42.42 |
| | RP_78 NV-95 | RP_78 NV-55 | 00:01:58 | 0.03 | 0.276 | 8.4 | 12.0% | 42.42 |
| | RP_78 NV-55 | RP_74 NV-35 | 00:03:30 | 0.06 | 0.289 | 5.0 | 12.0% | 42.42 |
| | RP_74 NV-35 | RP_89 NV+20 | 00:03:44 | 0.06 | 0.553 | 8.9 | 12.0% | 42.42 |
| | RP_89 NV+20 | RP_89 NV+125 | 00:06:54 | 0.12 | 1.013 | 8.8 | 12.0% | 42.42 |
| | RP_89 NV+125 | RP_2000 NV+180 | 00:03:56 | 0.07 | 0.414 | 6.3 | 12.0% | 42.42 |
| | RP_2000 NV+180 | RP_2000 Boca Mina | 00:01:45 | 0.03 | 0.358 | 12.3 | 12.0% | 42.42 |
| | TOTAL INTERIOR MINA | | | 00:39:32 | 0.659 | 5.409 | 8.2 | 11.6% |
| BOCAMINA RP_2000 a CHANCADO (SUPERFICIE) SUBIDA | RP_2000 Boca Mina | Nueva Balanza | 00:02:07 | 0.04 | 0.383 | 10.9 | 10.2% | 42.42 |
| | Nueva Balanza | Chancado | 00:04:22 | 0.07 | 0.975 | 13.4 | 6.0% | 42.42 |
| TOTAL SUPERFICIE | | | 00:06:28 | 0.11 | 1.358 | 12.6 | 8.1% | 42.42 |
| TOTAL SUBIDA CON CARGA | | | 00:46:00 | 0.767 | 6.767 | 8.8 | 11.1% | 42.42 |

PRUEBA CAMIÓN SCANIA CN 462 TRANSPORTE 80 TM
SCANIA V8 R620
(8x4 HEAVY TIPPER - 620 HP)
SIN CARGA EN 1 TOLVA Y 1 CARRETA VACÍA

| DESTINO | INICIO | FINAL | Δ TIEMPO (hh:mm:ss) | TIEMPO (hr) | DISTANCIA (Km) | VELOCIDAD (Km/hr) | GRADIENTE (%) | TM |
|---|-------------------|-------------------|---------------------|--------------|----------------|-------------------|---------------|----------|
| CHANCADO a BOCAMINA RP_2000 (SUPERFICIE) BAJADA | Chancado | Nueva Balanza | 00:03:01 | 0.05 | 0.975 | 19.4 | 10.2% | - |
| | Nueva Balanza | RP_2000 Boca Mina | 00:02:02 | 0.03 | 0.383 | 11.3 | 6.0% | - |
| TOTAL SUPERFICIE | | | 00:05:03 | 0.08 | 1.358 | 16.1 | 8.1% | - |
| BOCAMINA RP_2000 a CHUTE 4351 NV-350 (INTERIOR MINA) BAJADA | RP_2000 Boca Mina | RP_2000 NV+180 | 00:01:09 | 0.02 | 0.358 | 18.7 | 12.0% | - |
| | RP_2000 NV+180 | RP_89 NV+125 | 00:01:56 | 0.03 | 0.414 | 12.8 | 12.0% | - |
| | RP_89 NV+125 | RP_89 NV+20 | 00:04:18 | 0.07 | 1.013 | 14.1 | 12.0% | - |
| | RP_89 NV+20 | RP_74 NV-35 | 00:02:02 | 0.03 | 0.553 | 16.3 | 12.0% | - |
| | RP_74 NV-35 | RP_78 NV-55 | 00:01:22 | 0.02 | 0.289 | 12.7 | 12.0% | - |
| | RP_78 NV-55 | RP_78 NV-95 | 00:02:03 | 0.03 | 0.276 | 8.1 | 12.0% | - |
| | RP_78 NV-95 | RP_78 NV-175 | 00:03:28 | 0.06 | 0.556 | 9.6 | 12.0% | - |
| | RP_78 NV-175 | RP_78 NV-255 | 00:02:09 | 0.04 | 0.818 | 22.8 | 10.0% | - |
| | RP_78 NV-255 | RP_78 NV-282 | 00:01:18 | 0.02 | 0.250 | 11.5 | 10.0% | - |
| | RP_78 NV-282 | RP_78 NV-300 | 00:01:36 | 0.03 | 0.282 | 10.6 | 12.0% | - |
| | RP_78 NV-300 | Chute 4351 NV-350 | 00:04:34 | 0.08 | 0.600 | 7.9 | 12.0% | - |
| | Chute 4351 NV-350 | Rotonda | 00:02:00 | 0.03 | 0.444 | 13.3 | 1.0% | - |
| TOTAL INTERIOR MINA | | | 00:27:55 | 0.465 | 5.853 | 12.6 | 10.8% | - |
| TOTAL BAJADA SIN CARGA | | | 00:32:58 | 0.549 | 7.211 | 13.1 | 11.1% | - |